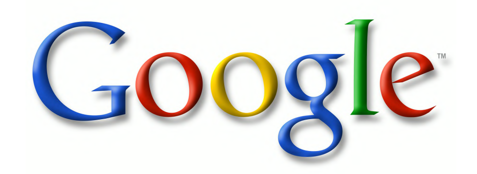
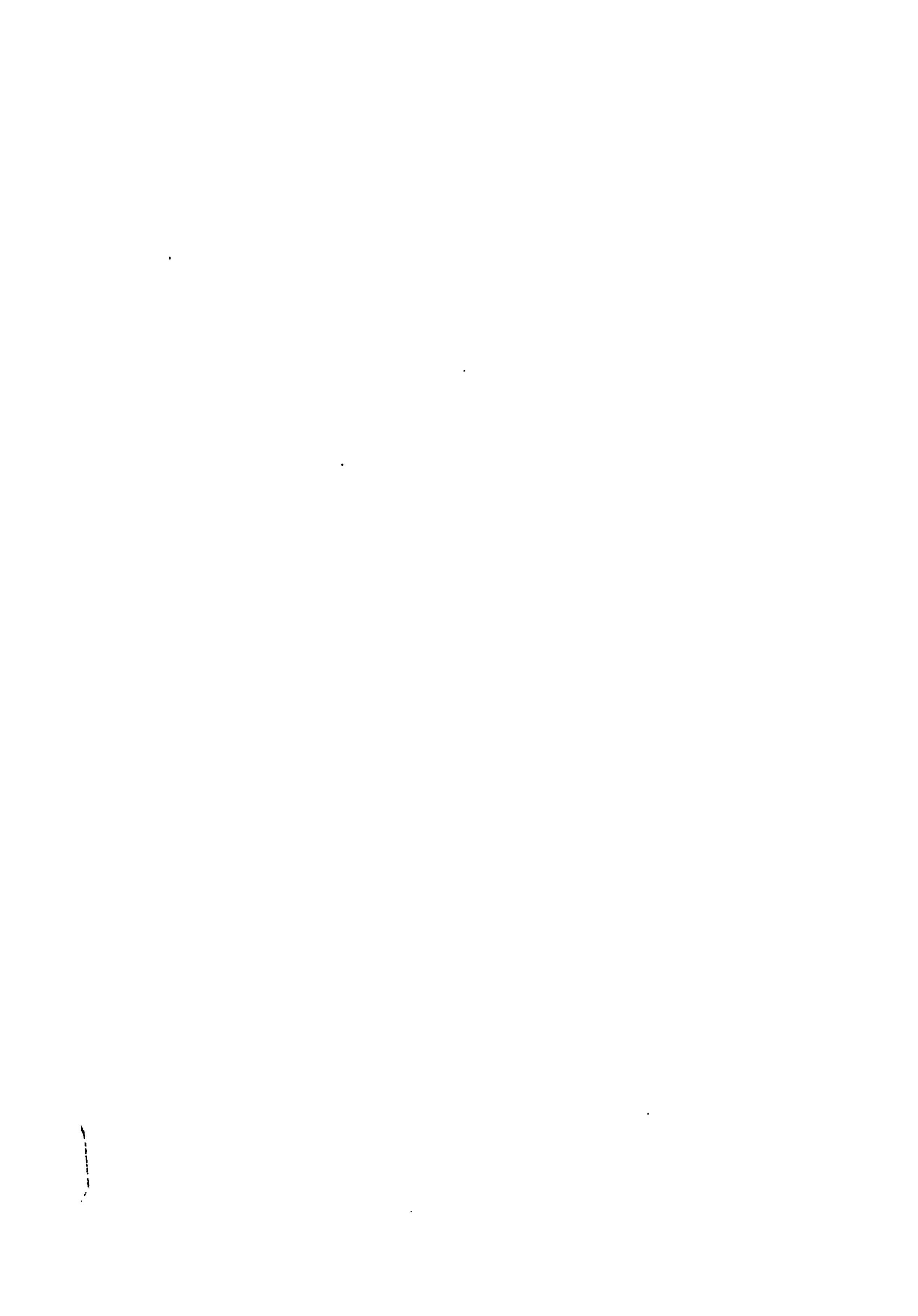



NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06910763 3







Carls-
hen in
nce,

horn.

PA F

Lehrbuch

der

PHYSIK

zum

Gebrauche bei Vorlesungen und zum Selbstunterrichte

von

Dr. W. Eisenlohr,

Grossherzogl. Badischem Geheimerathe und Professor der Physik an der Polytechnischen Schule in Carlsruhe, Commandeur des Zähringer Löwen-Ordens, Mitglied der Königl. Academie der Wissenschaften in München, correspondirendem Mitglied der Britischen Association for the advancement of science, und mehrerer anderer gelehrten Gesellschaften.

Neunte, verbesserte und vermehrte Auflage.

Mit 709 Holzschnitten.

Stuttgart.

Verlag von J. Engelhorn.

1863.

Seiner Königlichen Hoheit

dem

Grossherzog Friedrich von Baden,

Herzog von Zähringen u. s. w.

in tiefster Verehrung

gewidmet

von

W. Eisenlohr.



Durchlauchtigster Grossherzog!
Gnädigster Fürst und Herr!

In einem glücklichen Lande, wo jeder Bürger für seinen um Vaterland, Wissenschaft und Kunst hochverdienten Fürsten, von Dank und Verehrung erfüllt ist, sucht der Einzelne gerne eine besondere Veranlassung, seine Gefühle auch auszusprechen. Diese zu finden, ist mir besonders leicht, da ich so oft das Glück hatte, Euer Königliche Hoheit und Dero hochverehrte durchlauchtigste Gemahlin an den Fortschritten der Physik den eifrigsten Antheil nehmen zu sehen. Mit welcher Freude mich diess jedesmal erfüllte, vermag ich nicht mit Worten auszudrücken. Der Herbst meines Lebens ist dadurch in höherem Sinne so schön geworden, und ich fühle mich darum doppelt glücklich, hier *ein öffentliches Zeichen* von der ehrfurchtsvollsten Liebe

und Dankbarkeit niederlegen zu dürfen, mit welcher ich bis an das Ende meiner Tage verbleiben werde

Euer Königliche Hoheit

treu gehorsamster Diener

Carlsruhe den 9. Juli 1863.

W. Eisenlohr.

Vorrede.

War es mir bei der vorigen Auflage vergönnt, mich über die grosse Verbreitung dieses Buches dankend aussprechen zu können, so ist diess in noch höherem Grade jetzt der Fall. Ich suchte darum mit gleichem Eifer zu verbessern, und Mittheilung von allen neuen Fortschritten der Physik zu machen. In wiefern mir diess gelungen, überlasse ich dem wohlgeneigten Leser zu beurtheilen. Rühmlich wird aber gewiss jeder das Verdienst des Verlegers um correcte und schöne Ausstattung dieses Buches anerkennen.

Carlsruhe, 9. Juli 1863.

W. Eisenlohr.

Inhalt.

Druckfehler.

pag. 193 Zeile 4 von oben statt: Sirene, soll: Stimmgabel fast
„ 197 „ 27 „ unten statt: keine, soll: nur schwache
„ 251 „ 12 „ oben: Von „und“ an, das Uebrige weg.
„ 258 „ 5 „ oben: statt sin α soll: sin α
„ 568 ist Fig. 553 verkehrt.

Einleitung.

§. 1.

Unter dem Wort *Natur* verstehen wir theils den Inbegriff aller sinnlich wahrnehmbaren Dinge, die ganze Körperwelt; theils die Gesammtheit aller Eigenschaften, Kräfte und Beziehungen einer Sache; theils aber auch die erste Ursache aller Dinge.

Körper oder *Materie* heisst Alles, was wir durch unsere Sinne wahrnehmen; *Kraft* Alles, was eine Veränderung bewirkt.

§. 2.

Naturwissenschaft wäre demnach *die Kenntniss aller vorhandenen Dinge, nach ihren äussern und innern Merkmalen, ihren Verbindungen und Wirkungen.* Die Beobachtung der Natur zeigt uns aber, dass sowohl unter den Körpern, schon nach ihrem Aeussern, grosse Verschiedenheit stattfindet, als auch, dass die Veränderungen, welchen diese Körper unterworfen sind, so wie die Erscheinungen, welche sie hervorbringen, einer grossen Manchfaltigkeit von Kräften unterliegen. Darum zerfällt die Naturwissenschaft:

1) In die Beschreibung der natürlichen Körper, hauptsächlich zu dem Zwecke, sie von andern zu unterscheiden; *Naturgeschichte* oder *Naturbeschreibung.*

2) In die Darstellung der diesen Körpern inwohnenden Kräfte und der Erscheinungen, welche durch sie hervorgebracht werden, oder *Naturlehre* im weitern Sinn.

Dieser zweite Theil der Naturwissenschaft kann sich entweder auf unorganische Körper allein erstrecken und auf organische Körper nur in so fern, als diese den Gesetzen der unorganischen Körper ebenfalls unterworfen sind, oder er begreift die Erklärung der Erscheinungen an organischen Körpern, als solchen. Die erste Unterabtheilung heisst Naturlehre im engern Sinn, oder *Physik*, die zweite *Physiologie.*

§. 3.

Die *Physik* ist also *die Wissenschaft von den Ursachen oder Kräften, welche die in der unorganischen Natur vorgehenden Erscheinungen und Veränderungen bedingen.*

Da auch die Naturbeschreibung sich häufig solcher Merkmale bedient, welche auf die Eigenschaften und Kräfte der Körper gegründet sind, und die man daher physikalische Kennzeichen nennt, so kann sie der Physik eben so wenig entbehren,

als die Physiologie, deren Bestreben darauf gerichtet sein muss, die zusammengesetzten Erscheinungen der organischen Körper auf die einfachern Grundgesetze der Natur zurückzuführen. Da ferner die *Chemie*, als die Wissenschaft von der Zusammensetzung der Körper und ihrem gegenseitigen Verhalten, ebenfalls von gewissen Kräften derselben ausgeht, so müssen die allgemeinen Gesetze dieser Wissenschaft auch einen Theil der Physik ausmachen.

§. 4.

Die Physik schöpft ihren ersten Unterricht aus der Beobachtung der Veränderungen in der Körperwelt, welche *Naturerscheinungen*, und wenn sie selten sind, *Phänomene* heissen. Diese Veränderungen sind entweder *mechanisch* oder *materiell*. Im letztern Fall heissen sie *chemisch*. So ist z. B. das Zerschlagen eines Körpers in pulverartige Theilchen, eine *mechanische*, das Auflösen desselben in einer Flüssigkeit, eine *chemische Veränderung*.

§. 5.

Die Naturerscheinungen erfolgen nach bestimmten Regeln, die wir *Naturgesetze* nennen. Die letzten Ursachen dieser Erscheinungen nennt man *Grundkräfte* und diejenigen Naturgesetze, welche der Erfahrung gemäss die einfachsten bekannten Wirkungen dieser Grundkräfte ausdrücken, heissen *Grundgesetze*.

Durch die aufmerksame Beobachtung mehrerer einander ähnlichen Naturerscheinungen und durch diejenige besondere Thätigkeit des Geistes, das allgemein Bedingende der Veränderungen zu erfassen, welche man *Induction* nennt, finden wir, dass die einzelnen Erscheinungen einer gewissen Regel folgen. Diese Erscheinungen können entweder ohne unser Zuthun in der grossen Werkstätte der Natur sich ereignen, wie z. B. die Veränderungen in der Stellung der Weltkörper, in dem Zustande unserer Atmosphäre u. s. w., oder sie können durch Versuche, das heisst dadurch hervorgebracht werden, dass wir die auf einander wirkenden Körper in eine gewisse Lage versetzen. So fand *Kepler* die Gesetze über die Umlaufszeiten der Planeten, durch Beobachtungen, und *Galilëi* die Gesetze über die Schwingungszeiten der Pendel, durch Versuche. Diese Art die Wissenschaft zu erweitern, heisst der *Weg der reinen Erfahrung*. Auf ihm gelangt der Geist des Naturforschers zu der Ueberzeugung, dass eine tiefer liegende Ursache, ein *allgemeineres Gesetz*, die einzelnen Regeln bedingen müsse, und indem er durch eine Art höherer Induction das letztere erkennt, reihen sich unzählige Folgerungen an dasselbe, die theils bekannte Thatsachen erklären, theils zu neuen Entdeckungen Veranlassung geben. So legte der unsterbliche *Newton* durch das Gravitationsgesetz den Grund, nicht nur zur Erklärung der Kepler'schen und Galilëi'schen Gesetze, sondern zur ganzen jetzigen Astronomie; so sieht das Auge des mathematischen Physikers in dem voraus berechneten Spectrum des gebeugten Lichtstrahls, mit schwachen Werkzeugen mehr, als das scharf bewaffnete Auge des Empirikers jemals vor ihm erblickte. Dies ist der *mathematische Weg der Naturforschung*. Man kann darum die Physik in *Erfahrungsnaturlehre* und *mathematische Physik* theilen; doch kann keine der andern entbehren.

Wo es zu schwierig ist, in den Erscheinungen bestimmte Gesetze nachzuweisen, muss man sie doch nach Zahlenverhältnissen oder durch Curven ausdrücken, denn die wahren Gesetze sind in der Regel nur durch die Manchfaltigkeit der die Erscheinung hervorbringenden Kräfte verhüllt.

§. 6.

Das Zurückführen einer Naturerscheinung auf ein Naturgesetz heisst die *Erklärung* derselben. Wo diese aber nicht möglich ist, schafft die Wissenschaft neue, den übrigen Naturgesetzen ähnliche Voraussetzungen oder *Hypothesen*. Alle Naturgesetze waren im Anfang Hypothesen, aber nicht alle Hypothesen sind zu Naturgesetzen erhoben worden; doch hat

man ihnen Vieles in der Wissenschaft zu danken, besonders seitdem die Mathematik ein Prüfungsmittel derselben geworden ist.

So erklärt man durch das Grundgesetz von der Anziehungskraft der Körper das Bilden des Wassertropfens, wie die Kugelgestalt unserer Erde; man erklärt dadurch den Druck der Luft und den des Wassers und hat nicht mehr nöthig, seine Zuflucht zu der längst verschollenen Hypothese von dem Abscheu der Natur vor dem Leeren zu nehmen, wenn man das Emporsteigen des Wassers in einer Brunnenröhre erklären will, in welcher die Luft verdünnt ist, noch zur Erklärung der Erscheinung, dass eine mit Luft gefüllte Blase in der Tiefe des Wassers zusammengepresst wird.

Wo verschiedene Hypothesen bestehen, gebe man derjenigen den Vorzug, welche am einfachsten ist, am meisten erklärt und die grösste Aehnlichkeit mit andern, anerkannten Naturgesetzen hat.

§. 7.

Die in der Einleitung zur Physik gebräuchlichen Lobpreisungen über den Nutzen dieser Wissenschaft werden hier übergangen, indem man ihn besser begreift, wenn man ihren Inhalt kennt. Der Einfluss derselben auf die Gewerbe und den Reichthum der Nationen, welcher gewöhnlich vor Allem gerühmt wird, ist gross und manchfaltig; aber eben so wohlthätig wirkt sie auf unser religiöses und moralisches Gefühl. Durch sie lernen wir überall die Weisheit und Grösse des Schöpfers bewundern, indem wir erfahren, wie durch die Anwendung der einfachsten Mittel die manchfaltigsten und wunderbarsten Zwecke erreicht werden, und welcher Geist der Ordnung, Harmonie und Kraft das ganze Weltall durchweht.

I. Abschnitt.

Von der Uebereinstimmung der Körper.

§. 8.

Alle Körper stimmen in gewissen Eigenschaften mit einander überein, welche daher *allgemeine* Eigenschaften genannt werden. Mehrere dieser Eigenschaften sind aber von der Art, dass wir uns ohne sie einen Körper gar nicht denken können. Dahin gehört z. B. die *Ausdehnung*, *Figur* und *Undurchdringlichkeit*.

§. 9.

Die Vorstellung des Raumes, welchen ein Körper erfüllt, oder seine *Ausdehnung* ist zwar durch die Anschauung in unserem Geiste entstanden; aber ohne diese Anschauung würde uns der Begriff vom Körper gänzlich fehlen, und daher ist die Ausdehnung eine wesentliche Eigenschaft. Wir geben das *Volumen* oder die körperliche Ausdehnung eines Körpers an, indem wir letztere auf irgend ein Maass als Einheit beziehen. Zur Einheit dient allgemein ein Würfel, dessen Seite ein Zoll oder ein anderes Maass ist. Die Körper sind begränzt von Flächen und die Flächen von Linien. Die Flächenausdehnung wird durch Flächen (Quadrate), die lineare Ausdehnung durch Linien angegeben.

§. 10.

Die Art der Begränzung gibt den Begriff von *Figur*, denn das Ausgedehnte ohne Gränze ist formlos. Bei vielen Körpern zeigt sich, bis in ihre kleinsten Theile, ein Bestreben nach regelmässigen oder wenigstens symmetrischen Figuren.

Beispiele dazu liefern die Krystalle, Pflanzen, der Staub von Schmetterlingsflügeln, Maulwurfshaare, Querschnitte von Hölzern, die Augendecke mancher Insekte u. s. w.

§. 11.

Zum Maass der linearen Ausdehnung dient am häufigsten das *Meter*, welches näherungsweise der zehnmillionste Theil des Erdquadranten, oder des Bogens vom Aequator bis zum Nordpol ist.

Die Vergleichung der wichtigsten Längenmaasse mit dem Meter gab folgende Werthe:

1 Rheinischer oder Preussischer Fuss	= 0,313853	Meter.
1 Englischer Fuss	= 0,304794	„

1 Wiener Fuss	= 0,316102	Meter.
1 Pariser Fuss	= 0,324839	„
1 Russischer Fuss	= 0,304794	„
1 Schwedischer Fuss	= 0,296838	„
1 Badischer Fuss	= 0,300000	„

Zur genauern Bestimmung der Länge dienen sehr fein getheilte Maassstäbe, am häufigsten wird aber dazu ein Nonius oder Vernier gebraucht. Dieses ist ein mit dem Maassstab paralleler Schieber, Fig. 1. Auf den letztern wird eine bestimmte Länge des eigentlichen Maassstabs, z. B. von 11 Linien, von 0 bis 10 getragen und in 10 gleiche Theile getheilt. Die Länge jeden Theils vom Nonius ist alsdann $^{11}/_{10}$ Linien, folglich ist ein Theil des Nonius $^{1}/_{10}$ Linie grösser, als ein Theil des Maassstabs. Hat man nun die Länge vom Anfang des Maassstabs bis zu einem Punkt zu messen, welcher zwischen zwei Theil-Strichen des Maassstabs steht, so schiebt man den Nullstrich des Nonius an diesen Punkt. Dieser liegt in der nebenstehenden Figur um 19 Zoll 6 Linien und ein Bruchtheil einer Linie über dem Anfangspunkt des Maassstabs. Nun sieht man nach, wo ein Strich des Nonius am genauesten auf einen Strich des Maassstabs passt. Dies ist hier z. B. beim fünften Strich des Nonius, von Null an gerechnet, der Fall. Der vierte Strich des Nonius ist um $^{1}/_{10}$ Linie höher, als der daneben befindliche des Maassstabs; der dritte um $^{2}/_{10}$, der zweite ist um $^{3}/_{10}$ Linien höher als der vorhergehende des Maassstabs u. s. w., folglich der Nullstrich um $^{5}/_{10}$ Linien höher als 19 Zoll 6 Linien. Die ganze Länge beträgt also 19 Zoll, 6,5 Linien. Wäre der dritte Strich des Nonius von 0 an in gleiche Richtung mit einem Strich des Maassstabs gefallen, so hätte man $^{3}/_{10}$ Linien rechnen müssen. Theilt man auf diese Art 101 Millimeter in 100 gleiche Theile, so ist man mittelst einer Loupe im Stande, auf diese Art $^{1}/_{100}$ Millimeter zu unterscheiden. Auf ähnliche Art, wie gerade Linien, werden auch Stücke von Kreisbogen mittelst eines Nonius gemessen.

Fig. 1.

Sehr kleine Gegenstände misst man, indem man sie auf den Maassstab, gewöhnlich ein Glasgitter, legt und durch ein Mikroscop betrachtet. Grössere Gegenstände misst man durch Comparateure, das heisst Stangenzirkel, deren Enden mit Mikroscopen versehen sind, und überträgt ihre Länge auf den Maassstab.

Den Unterschied zweier nahezu gleicher Maassstäbe bestimmt man durch einen sehr gleichförmig zugespitzten und getheilten Keil von Stahl. Man legt zu diesem Ende den Maassstab zwischen zwei feste, zur Unterstützungsfläche senkrechte Metallplatten, stemmt ihn gegen die eine und schiebt den Keil zwischen das andere Ende und die zweite Platte. Die Tiefe bis zu welcher er eindringt, ist das Maass für den Zwischenraum.

Zum Messen dienen ferner Mikrometerschrauben. Diese sind Schrauben von gleichförmigem Gange, durch deren Umdrehung entweder ein Gegenstand unter dem festen Mikroscop oder das Mikroscop über dem Gegenstand, parallel mit einem untergelegten Maassstabe, fortbewegt wird. Die an dem Schraubenkopf abgelesenen Theile überträgt man in Längentheile, indem man die Umdrehungen der Schraube bestimmt, welche nöthig sind, damit ein fester Punkt, gewöhnlich ein Faden im Mikroscop, von einem Theilstrich des untergelegten Maassstabes bis zum andern fortrückt. Dadurch prüft man auch die Gleichförmigkeit der einzelnen Schraubengänge.

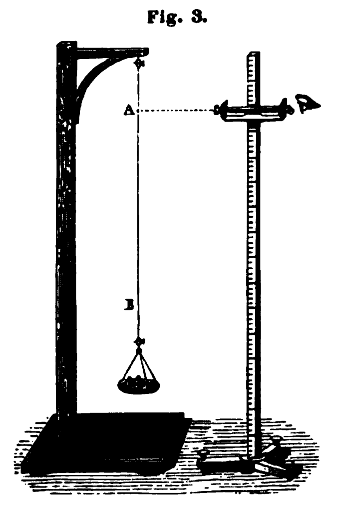
Fig. 2.

Zur Erläuterung der Messungen mit feinen Mikrometerschrauben möge das *Sphärometer*, Fig. 2, welches zum Messen der Dicke von dünnen Blechen, Drähten u. s. w. gebraucht wird, dienen. Es besteht aus einer sehr feinen Schraube, die sich in einer Schraubenmutter drehen lässt, welche mittelst drei stählerner, dünnen Füsse auf einer horizontalen vollkommen ebenen Glasplatte ruht. An der vertikalen Schraube ist eine Metallfläche befestigt, deren Peripherie in 100 oder mehr Theile getheilt ist. Zur Seite dieser Kreisscheibe aber dicht daneben steht ein vertikales Metallstück, dessen Theilung der Weite der einzelnen Schraubengänge entspricht. Beträgt diese z. B. ein Millimeter, so wird die Schraube bei einer ganzen Umdrehung um 1 Millimeter und bei $^{1}/_{100}$ Umdrehung oder durch

Fortrücken der Kreisscheibe um 1 Theilstrich, um $^1/_{100}$ Millimeter gehoben oder gesenkt. Will man nun damit messen, so dreht man erst so lange, bis die Spitze der Schraube und die Füsse alle in einer Ebene liegen, das heisst, die Glasplatte gerade berühren, und schreibt nun die Stellung an dem vertikalen Metallstück und der Kreisscheibe auf. Nun bewegt man die Schraube aufwärts, legt das zu messende Plättchen unter dieselbe auf das Glas und schraubt abwärts, bis dieses von der Spitze der Schraube berührt wird. Indem man nun die Stellung der Scheibe abermals abliest, findet man aus der Differenz dieser und der vorigen Stellung die Dicke. Angenommen, die Differenz betrage eine ganze Umdrehung und 17 Striche der Kreisscheibe, so ist die Dicke des Plättchens 1,17 Millimeter. Das Sphärometer dient auch dazu, um zu untersuchen, ob eine Fläche kugelförmig oder eben geschliffen ist; denn in dem ersten Fall müssen alle vier Spitzen bei jeder Verschiebung die Oberfläche berühren, ohne in einer Ebene zu liegen; im zweiten Fall werden sie erst mittelst der Glasplatte in eine Ebene gebracht und müssen dann die Oberfläche des ebenen Körpers bei jeder Verschiebung berühren.

Ein wichtiges Instrument für den Physiker ist auch das Kathetometer, welches zum Messen kleiner Höhenunterschiede dient. Die Fig. 3 gibt davon eine Vorstellung. Es besteht aus einem metallenen Stab von etwa 1 Meter Länge, der in Millimeter getheilt ist und durch die Stellschrauben, die an seinem Fuss angebracht sind, genau vertikal gestellt werden kann. Ein Fernrohr von kurzer Tragweite, mit einer Wasserwaage verbunden, und senkrecht zum Maassstab, kann an diesem auf und ab geschoben werden. Es ist mit einem Nonius verbunden, der $^1/_{10}$ bis $^1/_{50}$ Millimeter angibt. Indem man den horizontalen Faden des Fernrohrs nach einander genau auf zwei Punkte *A* und *B* einstellt, erhält man auf der Scala ihren Abstand.

Fig. 3.



Zum Theilen der Maassstäbe dient die Theilmaschine, erfunden von dem Herzog von Chaulnes; sie besteht im Wesentlichen in der Fortführung eines Schlittens durch eine feine Schraube. An dem Schlitten ist der Schneidestift befestigt, mit dem man nach einer bestimmten Drehung des Schraubenkopfs, unter dem Mikroscop den Theilstrich einreisst. Die Theilung der Kreise wird durch Reichenbachs Kreistheilmaschine vollführt und ist bei grössern Kreisen bis auf $^1/_4$ Sekunde genau.

Zum Messen der Flächen und Körper dienen, wie schon bemerkt, die Quadrate und Kuben obiger Maasse. Doch sind noch folgende Maasse zur Bestimmung des Volumens der Körper in der Physik von Wichtigkeit, wobei der Liter oder der tausendste Theil eines Kubikmeters zu Grunde gelegt ist.

1 Preussisches Quart	=	1,145	Liter.
1 Englisches Gallon	=	4,543	„
1 Wiener Eimer	=	58,015	„
1 Russischer Wedro	=	12,695	„
1 Schwedische Kanne	=	2,718	„
1 Badische Maas	=	1,500	„

Ein Gefäss nach seinem Volumen in gleiche Theile theilen, heisst dasselbe *calibriren*. Dieses geschieht entweder dadurch, dass man nach und nach gleiche Mengen einer Flüssigkeit in das Gefäss giesst und den Stand derselben an der Seitenwand bezeichnet, oder dadurch, dass man dieselbe Menge Flüssigkeit, z. B. einen Quecksilberfaden in einem Röhrchen verschiebt, und die obere und untere Gränze bezeichnet.

§ 12.

Das Volumen eines Körpers können wir uns auch vorstellen, ohne dass dieser Raum mit Materie angefüllt ist. Der Begriff der *Undurchdringlichkeit* ist eben eine Folge davon, dass der Körper aus Materie

besteht, und dass diese einen Widerstand leistet, wenn ein anderer Körper in den Raum eindringen will, den sie erfüllt. Würde nun die Materie eines Körpers einen gewissen Raum *vollkommen* erfüllen, so wäre es unmöglich, dass auch ein anderer Körper in demselben Raum sich vertheilte.

§. 13.

Die Ursache der Undurchdringlichkeit muss darum in der Art und Weise gesucht werden, wie die Materie den Raum erfüllt. Die *Dynamiker* behaupten, diese bestehe aus zwei einander entgegengesetzten Kräften, einer anziehenden und einer zurückstossenden, und die letztere sei die Ursache der Undurchdringlichkeit. Diess ist aber eine Hypothese, die in der Erfahrung aller Bestätigung entbehrt. Die *Atomisten* dagegen nehmen an, die Materie bestehe aus Atomen, d. h. sehr kleinen Körperchen, deren Grösse und Theilbarkeit darum nicht in Betracht kommt. Die Atome berühren sich nicht, sondern sie sind wahrscheinlich durch Zwischenräume von einander getrennt, welche man viel grösser, als ihre eigenen Durchmesser annehmen muss. Die Eigenschaft der Undurchdringlichkeit kommt demnach nur den Atomen zu und die Körper durchdringen sich, indem die Atome des einen sich in die Zwischenräume der Atome des andern lagern. Der Schein, als ob die Atome dicht beisammen stünden, rührt nur, wie bei einem Vogelschwarm, von ihrer grossen Anzahl her. Sie werden zusammengehalten durch eine allen Körpertheilchen eigene Kraft, die *Anziehungskraft.* An der Berührung werden sie verhindert durch eine dem Widerstand einer zusammengedrückten Feder ähnliche Kraft, die man *Abstossungskraft* nennt. Beide werden die *Molekularkräfte* der Körper genannt und sind von der höchsten Wichtigkeit. Die Abstossungskraft geht wahrscheinlich nicht von den Körperkräften, sondern von der Federkraft der sie umgebenden elastischen Flüssigkeiten aus. In dem einfachsten Fall denkt man sich darum die Atome umgeben von einer den Weltraum erfüllenden, höchst elastischen und feinen Materie, dem *Aether.* Dieser soll jedes Atom einhüllen, und vermöge der Anziehungskraft in der Nähe des Atoms verdichtet sein, wie die Luft in der Nähe unserer Erde. Wenn zwei Atome durch Druck einander genähert werden sollen, so müssen die Aetherhüllen oder Aethersphären, von denen sie umgeben sind, zusammengepresst werden. Dabei leistet die gegenseitige Abstossungskraft der Aethertheilchen einen Widerstand. Will man einen Körper zerreissen, so hat man die Anziehungskraft der Atome zu überwinden. Hierauf beruht das Gleichgewicht in dem gegenseitigen Verhalten der Atome. Diese Annahme hat viele Wahrscheinlichkeit. Die gegenseitige Abstossung der Aetheratome beweist aber auch zugleich, dass durch die Annahme einer einzigen Molekularkraft, *der Anziehung,* nicht Alles erklärt werden kann.

§. 14.

Ausser den oben angeführten Eigenschaften sind den Körpern noch folgende *allgemein,* die aber zur Wahrnehmung der Körper nicht unentbehrlich sind: *Beweglichkeit, Trägheit, Anziehungskraft, Porosität, Ausdehnbarkeit* und *Theilbarkeit.* Jeder Körper kann genöthigt werden, den Ort, welchen er einnimmt, zu ändern oder in Bewegung zu gerathen. Daher ist die *Beweglichkeit* eine allgemeine Eigenschaft.

§. 15.

Unter der *Trägheit* oder dem *Beharrungsvermögen* versteht man die Eigenschaft, dass ein Körper, der einmal in Bewegung ist, diese so lange fortsetzt, bis eine Kraft oder ein Widerstand sie aufhebt, und wenn er in Ruhe ist, so lange in Ruhe bleibt, bis er durch irgend eine Kraft in Bewegung gesetzt wird. Dieser wichtige Begriff ist zuerst von Galilëi im Jahr 1638 aufgestellt worden.

Beispiele davon sind: die Fortbewegung des Körpers, wenn das Schiff an's Ufer stösst; die Münze, welche in's Glas fällt, wenn man das Kartenblatt wegschlägt; das Zerschlagen eines Stocks, der auf zwei gespannten Haaren ruht; das Festmachen eines Stiels am Hammer, indem man auf den Stiel schlägt; das Trennen des Kopfs einer kölnischen Pfeife, indem man der Länge nach auf's Rohr schlägt; das Fallen, wenn man aus dem bewegten Wagen steigt und mit der ruhenden Erde in Berührung kommt; die ununterbrochene Bewegung der Weltkörper und die relative Ruhe aller Körper auf der Oberfläche der Erde, obgleich diese in jeder Sekunde über vier Meilen zurücklegt.

§. 16.

Die *Anziehungskraft* kommt allen wägbaren Körpern zu. Die Gesetze, nach welchen die Atome sich anziehen, sind noch nicht in allen Fällen ermittelt. Diejenigen Körper aber, welche sich unsern Sinnen unmittelbar als solche darbieten, befolgen alle einerlei Gesetz und für sie wächst die Anziehung im Verhältniss ihrer Massen und nimmt ab, im Verhältniss der Quadrate ihrer Entfernungen. Wenn also die Masse 1 von der Masse 1 in der Entfernung 1 mit der Kraft K angezogen wird, so wird sie von der Masse M in der Entfernung 1 mit der Kraft KM und in der Entfernung D mit der Kraft $\frac{KM}{D^2}$ angezogen. Ebenso gross ist die Anziehung der Masse 1 gegen die Masse M; denn die Masse 1 zieht jedes Theilchen der Masse M so stark an, als es von ihm angezogen wird. Die Anziehung von mTheilen auf MTheile ist daher $m$mal so gross; folglich ist die *gegenseitige* Anziehung der Massen M und m in der Entfernung D gleich $\frac{K \,.\, M \,.\, m}{D^2}$.

Dieses Gesetz heisst das *Gravitations-Gesetz* und wurde von *Newton* aus der gegenseitigen Wirkung der Weltkörper abgeleitet. *Cavendish* hat seine Richtigkeit durch Versuche nachgewiesen, indem er die Torsionswaage, welche später beschrieben werden wird, anwandte, um die Wirkung zweier Metallkugeln auf einander in verschiedenen Entfernungen zu untersuchen. Eine Folge desselben ist auch die Anziehung unserer Erde gegen die auf ihr befindlichen Körper, welche wir *Schwere* nennen. Sie ist die Wirkung der anziehenden Kraft aller materiellen Theilchen der Erde und würde stets nach dem Mittelpunkt derselben gehen, wenn die Erde eine vollkommene Kugel wäre. Die Richtung, in welcher ein Körper dieser Wirkung gemäss fällt, nennen wir *lothrecht*, oder *vertikal* und bestimmen sie durch einen an einem Faden freihängenden Körper. Eine dazu senkrechte Linie oder Ebene heisst *horizontal* oder *wagrecht*.

Da die Entfernungen der verschiedenen Punkte auf der Oberfläche der Erde, von ihrem Mittelpunkte, nicht überall gleich sind, so kann auch die Schwere nicht überall gleich sein. An demselben Ort aber

bewirkt die Schwere, dass alle Körper und alle ihre Theile mit vollkommen gleicher Geschwindigkeit fallen, und der Schein, als ob dies bei einem Blatt Papier und einer Bleikugel nicht der Fall wäre, rührt nur von dem Widerstande der Luft her.

Die Masse der Sonne ist 355000mal grösser, als die unserer Erde. An ihrer Oberfläche müsste also ein Körper 355000mal stärker angezogen werden, wenn nicht ihr Halbmesser 112mal grösser wäre und dadurch die Anziehungskraft derselben wieder 112 . 112 oder 12544mal kleiner würde. Aus dieser Ursache ist die Anziehung der Sonne gegen denselben Körper an ihrer Oberfläche nur ohngefähr $\frac{355000}{12544}$ oder $28^1/_2$mal grösser, als an der Oberfläche der Erde.

§. 17.

Der Druck, welchen ein Körper vermöge der Schwerkraft auf eine horizontale Unterlage ausübt, heisst sein *Gewicht.* Da nun alle Theile eines Körpers gleich schnell fallen, so muss das Gewicht mit der Menge derselben zunehmen. Wenn also zwei Körper gleich schwer sind, oder gleiche Gewichte haben, so enthalten sie auch eine gleiche Menge körperlicher Theile oder gleiche *Massen.* Aus demselben Grunde sagt man von einem Körper, welcher dreimal so schwer ist, als ein anderer, er habe dreimal so viel Masse. Nur wenn die Erde den einen Körper vorzugsweise vor dem andern anzöge, und ihm also eine grössere Geschwindigkeit beim Fallen ertheilte, wäre man zu der Behauptung berechtigt, dass die Massen nicht in gleichem Verhältniss mit den Gewichten zunehmen.

Ganz anders verhält es sich, wenn dieselbe Masse auf einen andern Weltkörper, oder in verschiedene Entfernungen von unserer Erde gebracht würde. Auf der Sonne muss die Masse, die in einem Pfundstein enthalten ist, einen 28mal grössern Druck auf ihre Unterlage ausüben, als auf der Erde. Für dieselbe Masse ist also das Gewicht um so grösser, je grösser die Anziehungskraft an dem Orte ist, an welchem das Gewicht gesucht wird. Ist die Anziehungskraft n mal so gross als hier und übt dort eine Masse den Druck p aus, so würde sie hier nur den Druck $\frac{p}{n}$ hervorbringen. Denkt man sich, die Masse 1 habe bei der Anziehungskraft 1 das Gewicht 1, so hat die Masse M bei der Anziehungskraft N das Gewicht MN. Nennt man dieses P, so ist also $P = MN$ und die Masse $M = \frac{P}{N}$. Man sieht daraus, dass dieselbe Masse ganz unabhängig von dem Gewicht ist; denn wird die Anziehungskraft z. B. sechsmal grösser, so wird es auch ihr Gewicht und der Werth des Bruches darum nicht geändert. Dies ist ferner die Ursache, warum man die Masse bezeichnet, indem man den Druck oder das Gewicht derselben dividirt durch die Anziehungskraft.

Zur *Einheit des Gewichtes* dient bei den Franzosen und in den meisten wissenschaftlichen Werken das *Gramm,* oder der millionste Theil von dem Gewicht eines Kubikmeters, also ein Cub. Centimeter reinen Wassers im Zustand der grössten Dichte. 1000 Gramm geben ein Kilogramm und dieses ist also das Gewicht eines Liters Wasser. Die Anzahl der Gramme oder Pfunde, welche ein Körper wiegt, heisst sein *absolutes* Gewicht.

Nachstehende Zahlen geben das Verhältniss einiger Gewichte zum Kilogramme an:

1 Preussisches Pfund	= 0,4677110 K.
1 Englisches, Avoir du poids Pfund	= 0,4536005
1 Wiener Pfund	= 0,5600164
1 Russisches Pfund	= 0,4095327
1 Pariser Poids de marc	= 0,4895060
1 Schwedisches Pfund	= 0,4251225
1 Badisches Pfund	= 0,5000000

Aus den vorangehenden Bestimmungen findet man nun leicht das in der Physik oft wichtige Gewicht eines Kubikfusses Wasser. Da z. B. ein Preussischer Fuss = 0,313853 Meter, so ist ein Kubikfuss = $0{,}313853^3$ Kubikmeter und wiegt also $1000 \times 0{,}313853^3$, oder 30,9156 Kilogramm; verwandelt man diese in Preussische Pfunde, so erhält man $\frac{30{,}9156}{0{,}467} = 66{,}1$.

§. 18.

Die *Porosität* ist die Eigenschaft der Körper, dass sie den Raum, welchen sie einnehmen, nicht ganz erfüllen, sondern nach dem Zeugniss der Erfahrung oft merkliche Zwischenräume einschliessen. Man muss jedoch zweierlei Arten von Poren unterscheiden: Bei organischen Körpern, z. B. bei Hölzern, sind diese Poren die Folgen der Structur oder der Art wie die Atome zu Zellen und Fasern an einander gereiht sind. Diese Poren haben oft eine solche Grösse, dass sie dem blossen Auge sichtbar sind oder leicht durch mechanische Mittel nachgewiesen werden können. Bei unorganischen Körpern, z. B. bei den Metallen, sind solche Zwischenräume selbst unter dem besten Mikroscop nicht sichtbar, und wir schliessen nur auf ihr Dasein aus der Fähigkeit solcher Körper von andern, ohne Vergrösserung ihres Rauminhaltes, durchdrungen zu werden oder beim Zusammenschmelzen mit ihnen einen kleineren Raum einzunehmen.

Beispiele für die Porosität: Wenn man an das Ende einer langen Glasröhre einen hohlen Cylinder von Buchsbaumholz kittet und Quecksilber in die Röhre giesst, so fliesst dieses als ein feiner Regen durch, sobald der Druck stark genug ist. Marmor lässt den Firniss eindringen; wirft man Kreide in Wasser, so steigt eine Menge Luftblasen aus ihr auf; aus dem Wasser steigen Luftblasen auf, wenn es erwärmt wird; Metalle lassen sich zusammenpressen; Hydrophan wird im Wasser durchscheinend und Metallkugeln, die mit Wasser gefüllt sind, welches stark zusammengepresst wird, überdecken sich mit Thautröpfchen; Flüssigkeiten lösen Salze in sich auf, ohne im gleichen Verhältniss an Raum zuzunehmen. Die letzte Art der Vertheilung eines Körpers in den Zwischenräumen eines andern wird der chemischen Durchdringlichkeit der Körper zugeschrieben. Diese Eigenschaft ist zwar auch sehr allgemein, findet jedoch nicht zwischen allen Körpern statt und wird daher im zweiten Abschnitt näher betrachtet. Die versteinerten Thiere und Pflanzen sind überraschende Beispiele von der Porosität, indem die versteinernde Substanz alle Theile durchdringen musste.

§. 19.

Die *Ausdehnbarkeit* und *Zusammendrückbarkeit* der Körper richtet sich vorzüglich nach dem Einfluss der Wärme und des Drucks. Alle Körper sind innerhalb gewisser Gränzen, bei zunehmender Wärme oder abnehmendem Drucke der Ausdehnung unterworfen und im entgegengesetzten Fall der Raumverminderung.

Beispiele dazu liefern: eine Flasche mit engem Hals, die mit Wasser gefüllt ist und erwärmt wird; eine Billardkugel, die auf eine geschwärzte Marmortafel

Fig. 4.

fällt; eine mit Luft gefüllte Blase, die sich zusammendrücken lässt und am warmen Ofen sich ausdehnt; eine Messingkugel, Fig. 4, die bei gewöhnlicher Temperatur in einen Ring passt, und erwärmt, nicht mehr durchfällt u. dgl. m. Auch das Thermometer beruht darauf. Der Raum, um welchen sich das Quecksilber von der Temperatur des schmelzenden Schnees bis zu der des siedenden Wassers ausdehnt, wird in 80 oder 100 gleiche Theile getheilt, die man Grade nennt. Im erstern Fall heissen sie Réaumur'sche-, im letztern Centesimalgrade, und werden durch *R* und *C* bezeichnet.

§. 20.

Die *Theilbarkeit* der Körper geht nach mathematischen Begriffen bis in's Unendliche; es ist aber desshalb nicht nothwendig anzunehmen, dass auch die physische Theilung so weit müsse getrieben werden können; indem man leicht einsieht, dass, wenn die Atome des theilenden Körpers eine gewisse Grösse haben und sich Poren zwischen ihnen befinden, die Theile des getheilten Körpers nicht kleiner ausfallen werden. Da nun die physische Theilung schon sehr weit getrieben worden ist, so müssen wir die Atome für kleiner halten, als die feinsten künstlichen Theile. Auch scheint die Erfahrung darauf hinzudeuten, dass die Atome keine Zerbrechung und keine Verwandlung erfahren. Man nennt die durch mechanische Theilung erhaltenen Theile die *Aggregattheile.*

Folgende Beispiele dienen zum Beweise der weitgehenden Theilbarkeit: Ein Dukate gibt 2000 Quadratzoll Goldblättchen. Eine silberne Stange von 1¼ Zoll Dicke und 22 Zoll Länge mit 1 bis 2 Loth Gold überzogen, gibt einen Draht von 110 französischen Meilen, welcher noch überall vergoldet ist, so dass 14 Millionen dieser Goldschichten, wie diejenige, welche ihn bedeckt, auf die Dicke eines Zolles kämen. 1 Pfund Baumwolle hat man zu einem Faden von 40 Meilen gesponnen, und Indianer haben Mousselin gewebt, von welchem 30 Ellen in eine gewöhnliche Dose gingen. Platina lässt sich zu Draht ziehen von $^1/_{30000}$ Zoll Dicke, welcher nur durch Glühen sichtbar gemacht werden kann, wenn man, nach *Wollaston,* um einen dicken Platindraht einen Cylinder von Silber giesst, diesen darauf zu dünnem Draht auszieht und das Silber wieder durch siedende Salpetersäure auflöst. *Fraunhofer* zog mit der Theilmaschine 32000 parallele Linien auf einen Zoll in Glas, und *Nobert* bringt die genaue Theilung noch weiter. Noch mehr muss man die weitgehende Feinheit der Theile an Naturprodukten bewundern. 1 Gran Carmin färbt 20 Pfund Wasser merklich roth; Moschus füllt ein ganzes Haus mit seinem Geruch, ohne merklich an Gewicht zu verlieren; und in einem Tropfen Flüssigkeit aus dem Darme eines Frosches sieht man unter dem Mikroscop unzählbare Thierchen, welche mit Werkzeugen der Ernährung und Bewegung versehen sind. Wie erstaunlich gross die Menge der Infusionsthierchen ist, beweist die Entdeckung *C. Fischers,* dass der Kieselguhr in Franzensbrunnen fast ausschliesslich aus den Panzern solcher Thierchen zusammengesetzt ist. *Ehrenberg* hat in der Folge gefunden, dass ganze Lager von Tripel und Polirschiefer aus Resten von Infusorien bestehen, während man auf jeden Kubikzoll 40000 Millionen solcher Geschöpfe rechnen kann. Die Haut einer Seifenblase hat oft nur die Dicke von 0,00001 Millimeter und in einem Cub.-Millim. Blut ist eine Million Blutkügelchen enthalten. Durch die Spectralanalyse hat *Bunsen* nachgewiesen, dass das Auge noch weniger als $^1/_{3000000}$ Milligramm Natrium zu erkennen vermag.

II. Abschnitt.

Von der Verschiedenheit der Körper.

§. 21.

Die Vorstellung von der Verschiedenheit der Körper kann ihren Grund in gewissen *äussern* Erscheinungen haben, welche mechanischer Natur sind, oder in *innern* Eigenschaften, welche wir ihrer chemischen Beschaffenheit zuschreiben.

A. Von der äussern Verschiedenheit der Körper.

§. 22.

Beinahe alle Körper haben, bei gleichem Raum-Inhalt, ein verschiedenes Gewicht. Darauf gründet sich die Vorstellung ihrer *Dichte*. Den schwerern Körper nennt man den dichtern, vorausgesetzt, dass beide gleiches Volumen haben. Wenn z. B. ein Kubikzoll des einen Körpers 3 Loth wiegt und 1 Kubikzoll des andern 6 Loth schwer ist, so sagt man, die Dichte des letzten Körpers sei das doppelte von der Dichte des ersten.

Die Verschiedenheit der Dichte rührt bei Körpern gleicher Zusammensetzung von der grössern Anzahl ihrer Atome her, wie z. B. bei gewöhnlicher und bei zusammengepresster Luft; bei andern, wie bei Gold und Eisen, nimmt man an, dass sie von der Schwere ihrer Atome herrühre.

Allgemein nimmt man für feste Körper und tropfbare Flüssigkeiten die Dichte des Wassers zur Einheit an und bezeichnet die der übrigen Körper durch ein Vielfaches oder durch einen Bruch. Die Dichte des Kupfers ist gleich 9, heisst also: Ein Kubikzoll Kupfer ist neunmal so schwer, als ein Kubikzoll Wasser. Bei Gasen und andern elastischen Flüssigkeiten dient die Luft zur Einheit. Unter der Dichte versteht man also nicht das Gewicht eines bestimmten Volumens. Unter dem *eigenthümlichen* oder *spezifischen* Gewichte dagegen versteht man häufig das absolute Gewicht von der Materie eines Körpers, welche das zur Einheit angenommene Volumen ausfüllt. Darnach ist z. B. das spezifische Gewicht eines Kubik-Centimeter Wasser = 1 Gramm und das von 1 Kub.-Centim. Kupfer = 9 Gramm; da sich aber die spezifischen Gewichte wie die Dichten verhalten, so wird sehr häufig mit dem Wort spezifisches Gewicht auch die Dichte bezeichnet.

Wenn 9 Gr. Kupfer = 1 Kub.-Centim. sind, so ist das Volumen von 1 Gr. Kupfer = $^1/_9$ Kub.-Centim. und das von 17 Gr. Kupfer = $^{17}/_9$ Kub.-Centim. *Um also das Volumen eines Körpers zu finden, muss man sein absolutes Gewicht in Grammen durch sein spezifisches Gewicht dividiren.*

§. 23.

Eine zweite Verschiedenheit der Körper gründet sich auf die Art der Verbindung ihrer Aggregattheile oder auf ihren *Aggregationszustand.* Darnach sind die Körper entweder *flüssig* oder *fest.* Ein Körper heisst flüssig, wenn sich seine Theile leicht verschieben lassen, und fest, wenn dies nicht der Fall ist. Die flüssigen Körper theilt man wieder in *tropfbar-flüssige* und in *elastisch-flüssige.* Dieser Unterschied gründet sich darauf, dass die erstern dem Druck auffallender widerstehen, als die letztern, und ihren Raum bei abnehmendem Druck nicht so lebhaft erweitern, als diese. Zur Erläuterung dient Wasser und eine mit Luft gefüllte Blase unter dem Recipienten der Luftpumpe. Während das Wasser unter demselben, bei aufhörendem Luftdrucke sich unmerklich ausdehnt, und ein Theil desselben Wasserdämpfe bildet, dehnt sich die gesammte Luft mit grosser Gewalt aus, bis zum Zersprengen der Blase.

Die elastisch-flüssigen Körper theilt man in *Dämpfe* und *Gase,* weil manche von ihnen leichter, andere schwerer durch Druck oder durch Kälte wieder zu tropfbaren Flüssigkeiten verdichtet werden; wie Wasserdämpfe und kohlensaures Gas. Es findet also zwischen beiden kein wesentlicher Unterschied statt; doch kann man die Gränze zwischen ihnen dahin bestimmen, dass ein gegebener Raum bei gewöhnlicher Temperatur und gewöhnlichem Luftdruck sich mit *Dämpfen,* aber nicht mit *Gasen sättigen* lässt. Wird sodann ein solcher Raum verengt oder erkältet, so verdichten sich wohl die Dämpfe zu tropfbarer Flüssigkeit, aber nicht die Gase. Bei dieser Verdichtung erscheinen zuerst die Flüssigkeitstheilchen als Bläschen oder Tröpfchen in der feinsten Vertheilung. Der Raum, den sie erfüllen, verliert seine vollkommene Durchsichtigkeit, und es entstehen *Dünste* oder *Nebel* und *Wolken.* Der Dampf selbst ist vollkommen durchsichtig und daher wohl von der *Dampfwolke* zu unterscheiden.

§. 24.

Die festen Körper theilt man nach dem grössern oder geringern Widerstand, welchen sie leisten, wenn man ihnen eine andere Gestalt geben will, in *harte* und *weiche* Körper. Die weicheren Körper werden von härteren geritzt und abgenutzt und man bestimmt die relative Härte zweier Körper, indem man untersucht, welcher den andern ritzt, ohne von ihm geritzt zu werden.

Nach erfolgter Aenderung der Gestalt durch Druck oder Zug können die Theile derselben wieder in ihre vorige Lage von selbst zurückkehren oder nicht; darnach heissen die Körper *elastisch* oder *unelastisch.*

Ein vollkommen elastischer Körper wäre ein solcher, dessen Theile mit derselben Gewalt wieder in ihre vorige Lage zurückkehrten, mit welcher sie daraus vertrieben worden sind. Da nun jeder Körper bei einer ganz geringen Formänderung seine vorige Gestalt wieder anzunehmen vermag, so ist in dieser Beziehung auch jeder vollkommen elastisch. Indem aber eine grössere Kraft auch jedem Körper eine dauernde Formänderung zu ertheilen vermag, so gibt es eine *Elastizitäts-Grösse,* bei welcher er seine *Elastizitäts-Gränze* oder seine höchste Dehnung erreicht.

Die Kraft, mit welcher die Theilchen eines Körpers innerhalb der Elastizitäts-Gränze wieder in ihre natürliche Lage zurückzukehren suchen,

wenn sie durch einen Druck oder Zug diese zu verlassen gezwungen worden sind, ist der Kraft des Druckes oder Zuges gleich und wird die *Spannkraft* oder *Elastizität* im engern Sinne genannt. Nach vielen Versuchen von *S'Gravesande*, *Coulomb*, *Hooke* und Andern ist *diese Spannkraft der Zusammendrückung oder Ausdehnung, welche die Körper erfahren, proportional.* Wird z. B. ein Eisenstab durch den Zug von 100 Kilogramm um $^1/_{1000}$ verlängert, so wird er durch das doppelte Gewicht um $^2/_{1000}$ länger. Ebenso wird er durch den Druck von 100 Kilogramm um $^1/_{1000}$ verkürzt. Wenn ein Stab von Schmiedeisen auf diese Art um mehr als $^1/_{1400}$ seiner Länge ausgedehnt wird, so nimmt er seine frühere Gestalt nicht vollkommen wieder an; bei $^1/_{1400}$ der Längenausdehnung hat also das Schmiedeisen seine *Elastizitäts-Gränze* erreicht. Dazu ist eine gewisse Kraft nöthig, die in dem Verhältniss zunimmt, in welchem der Querschnitt wächst und bei verschiedenen Körpern verschieden ist. Man nennt das Gewicht in Kilogrammen, welches die Länge eines Stabs von 1 □Millimeter Querschnitt verdoppeln würde, wenn eine solche elastische Verlängerung physikalisch möglich wäre, den *Elastizitäts-Modul.* Nach den Versuchen von *Wertheim* beträgt dieser bei den mittlern Temperaturen z. B. für Silberdraht 7300, für Stahl oder Eisendraht 18600, für Schmiedeisen 15400. Der Elastizitäts-*Modul* vermindert sich mit der Wärmezunahme. Ist der Elastizitäts-Modul oder das Gewicht $= P$, welches einen Stab von der Länge Eins um die Einheit verlängern würde, so wird derselbe durch die Gewichts-Einheit um $\frac{1}{P}$ verlängert. Diese Zahl heisst der *Elastizitäts-Coëfficient.* Es gibt indessen keine eigentliche Elastizitäts-Gränze, indem bei jeder Belastung, wenn sie längere Zeit dauert, bleibende Verlängerungen eintreten; nur sind diese innerhalb gewisser Gränzen so klein, dass man sie nicht wahrgenommen hat.

Körper, welche eine Formänderung erleiden, ohne dass ihre Theile den Zusammenhang aufgeben, heissen *dehnbar;* solche, bei welchen dieses nicht der Fall ist, *spröde.* Bei den letztern ist häufig der Gleichgewichtszustand der Molekularkräfte ein solcher, dass die geringste Störung ihn aufhebt.

Die härtesten Körper sind: Iridium und Diamant; sodann Bor, Saphir, Rubin und Bergkrystall.

Sehr elastisch sind: Gehärteter Stahl, Elfenbein, Federharz. Sehr dehnbar, und zwar durch den Schlag sind Blei, Zinn, Gold; durch den Zug: Platin, Silber, Eisen. Ein Beispiel von Sprödigkeit und von der grossen Gewalt der Molekularkräfte, gibt schnell gekühltes Glas an Bologneser Fläschchen und Glasthränen. Wenn man an letzteren nur eine Spitze abbricht, so zerplatzt das Ganze mit grosser Gewalt. Champagner-Flaschen zerspringen z. B., wenn man sie mit Wasser füllt und eine Glasthräne darin zerbricht. Die Atome an der Oberfläche der Glasthräne scheinen einander so nahe gebracht zu sein, dass sie sich stärker anziehen, als die Atome im Innern. Diese werden darum, wie durch ein heftig darüber gespanntes Netz gewaltsam zusammengehalten und entfernen sich, vermöge ihrer Federkraft, von einander, sobald dieses an irgend einer Stelle zerreisst. Um die Gesetze der Elastizität durch Zug nachzuweisen, kann man von dem Kathetometer, Fig. 3, Gebrauch machen. Man befestigt einen Draht an dem Gestell und streckt ihn gerade durch eine Schale mit dem Gewicht. Auf diesem Draht bezeichnet man zwei Punkte *A* und *B*, deren Abstand man bei verschiedenen Belastungen durch das Kathetometer findet.

§. 25.

Bei allen festen Körpern bilden die Atome gewisse Gruppen, die sich mit andern Gruppen zu einem Ganzen vereinigen. An den organischen Körpern erkennt man eine ziemlich regelmässige Gruppirung bei der näheren Betrachtung von Querschnitten oder Längenstreifen; bei den unorganischen Körpern daran, dass ihre kleinsten Theile, wenn sie bei ihrer Vereinigung sich selbst überlassen sind, sich zu einem symmetrisch geformten Ganzen verbinden, oder schon eine solche regelmässige Gestalt haben. In den festen Körpern sind diese Gruppen oft regelmässig wiederkehrend und von ebenen Flächen begränzt. In diesem Fall heissen die Körper *krystallinisch.* Die Krystalle unterscheiden sich durch ihre Form und durch die innere Verbindung ihrer Theile oder durch ihre *Structur* von einander. Nicht krystallisirte Körper nennt man *amorph* oder gestaltlos.

§. 26.

Die meisten Krystalle lassen sich entweder geradezu, oder wenn man sie vorher erhitzt hat, nach gewissen Richtungen so spalten, dass lauter ebene Flächen entstehen, und wo dies nicht der Fall ist, erkennt man das Dasein solcher Ebenen, welche *Blätterdurchgänge* heissen, an feinen Streifen und gewissen optischen Erscheinungen. Setzt man diese Theilung nach den deutlichsten Durchgängen fort, so erhält man eine regelmässige oder wenigstens symmetrische Gestalt, welche die *Theilgestalt* heisst. Die grösste aller möglichen Theilgestalten, die man sich in einem Krystall vermöge der vorhandenen Theilungsflächen denken kann, heisst die *Kerngestalt,* welche von der früheren Form des Krystalls sehr verschieden sein kann. Die Kerngestalt und jedes Theilchen kann man sich, auf ähnliche Art, in sehr kleine und einander gleiche Krystalle getheilt denken, welche man sodann *ergänzende Massentheilchen* (molécules) nennt. Zur Erläuterung kann hier das Zerspalten eines würfelförmigen Flussspaths oder eines, in Form einer sechsseitigen Säule, krystallisirten Kalkspathes dienen. Im erstern Falle erhält man ein regelmässiges Octaëder, im letztern ein Rhomboëder.

Hauptpunkte an den Krystallen sind die Ecken, die Mittelpunkte der Kanten und Flächen. Die Linien, welche solche Punkte verbinden und durch die Mitte des Krystalls gehen, heissen *Achsen.* In den geometrisch regulären Krystallen gibt es einen wahren Mittelpunkt. Fällt man von dem Mittelpunkt des Würfels, Fig. 5, senkrechte Linien auf die sechs Seitenflächen des Würfels, so entstehen drei gerade Linien oder Achsen, welche unter sich gleich und zu einander senkrecht sind. Eine Achse heisst eine *Hauptachse,* wenn man senkrechte Schnittflächen zu ihr sich denken kann, welche auf eine regelmässige Weise von der Oberfläche des Krystalls begränzt werden oder die Einzeichnung solcher regelmässigen Figuren gestatten. Nach der Anzahl solcher Achsen heisst ein Krystall einachsig, zweiachsig u. s. w. Die andern Achsen heissen *Nebenachsen.* Das *Rhomboëder,* Fig. 6, ist z. B.

Fig. 5.

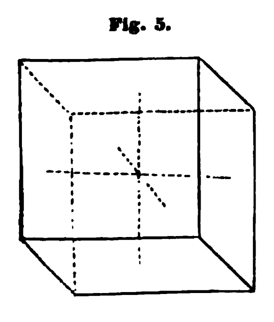


Fig. 6.

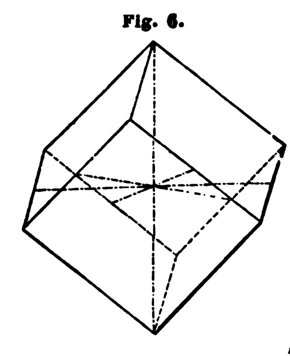


Fig. 7.

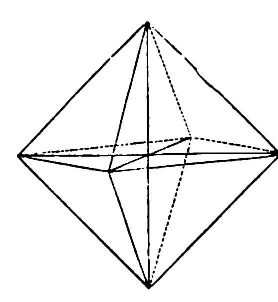
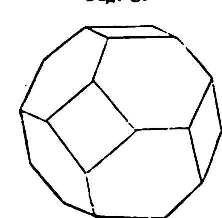


Fig. 8.



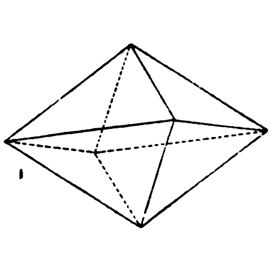
ein *einachsiger* Krystall. Die einzige Hauptachse ist hier die Linie, welche durch die beiden Scheitel geht, in welchen drei *gleiche* Winkel zusammenstossen. In der Figur ist es die lothrechte Linie. Die Nebenachsen sind drei zur Mitte der Hauptachse senkrechte Linien, welche unter sich Winkel von 60° bilden und durch die Mitte der gerade gegenüberstehenden Kanten gehen. Bei dem regulären Octaëder, Fig. 7, sind alle von einer Ecke zur gegenüberliegenden gezogene Linien einander gleich und zu einander senkrecht. Hier ist jede der drei Achsen eine Hauptachse. Wenn ein Krystall keine Hauptachse besitzt, so betrachten die Krystallographen irgend eine Nebenachse als solche. Bei der Beschreibung der Krystalle leitet man die zusammengesetzteren Gestalten nicht von der Kerngestalt, sondern von gewissen *einfachen Gestalten* ab, die von lauter gleichen und ähnlichen, symmetrisch um eine Achse liegenden Flächen begränzt sind. Ein Krystall heisst eine zwei-, dreifache Combination, je nachdem er zwei, drei einfache Gestalten enthält. So sind der Würfel und das Octaëder einfache Gestalten. Nun sehen z. B. manche Krystalle wie Fig. 8 aus, als wären sie Octaëder gewesen und es seien die Ecken senkrecht zu den Achsen abgeschliffen worden. In diesem Fall sind sie als eine Combination von dem Octaëder und dem Würfel anzusehen. Die einfachen Gestalten können selbst wieder in gewisse Klassen gebracht werden. So sind z. B. alle Würfel, regulären Octaëder, Pentagonaldodekaëder, geometrisch reguläre Körper, in welchen alle Achsen gleich und zu einander senkrecht sind, während in einer sechsseitigen Säule und einem Rhomboëder nur drei Achsen gleich sind, Winkel von 60 Grad bilden und die vierte zu ihnen senkrecht ist. Auf diese Art ergeben sich durch Betrachtung sämmtlicher einfacher Gestalten, folgende sechs *Achsen-* oder *Krystallsysteme.*

1) Drei Achsen sind rechtwinklicht zu einander und gleich. Das *reguläre System.*

2) Drei Achsen sind rechtwinklicht zu einander und nur zwei einander gleich. *Das zwei- und einachsige, auch quadratische System.* Dahin gehört das Quadratoctaëder, Fig. 9, 10, die quadratische Säule, Fig. 11.

3) Drei Achsen sind rechtwinklicht zu einander und alle ungleich. *Das ein- und einachsige oder rhombische System.* Z. B. die gerade rhombische Säule, Fig. 12, und das rhombische Octaëder, Fig. 13. In der erstern ist die Grundfläche ein Rhombus, in dem letztern sind nur je zwei einander gegenüberliegende Ecken einander gleich.

Fig. 9. Fig. 10. Fig. 11.



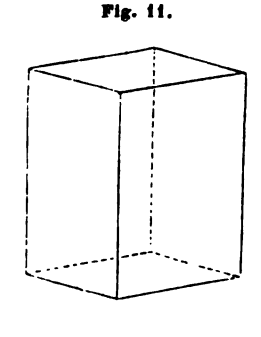
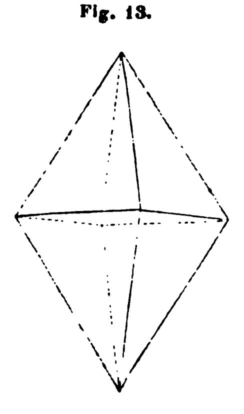


Fig. 12. Fig. 13. Fig. 14.



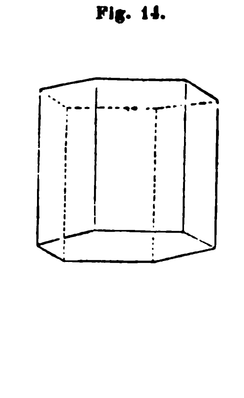


Fig. 15.

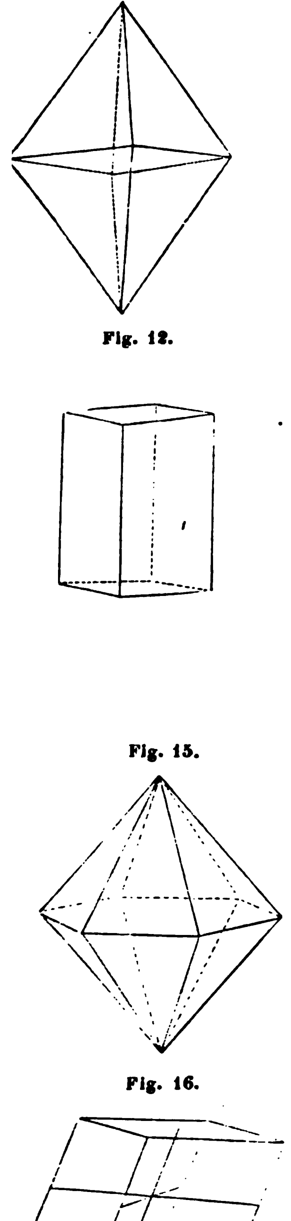


Fig. 16.

4) Drei Achsen sind einander gleich und bilden, in einer Ebene liegend, Winkel von 60°, während die vierte, die Hauptachse, senkrecht zu ihnen ist. *Das drei- und einachsige, auch rhomboëdrische System.* Beispiele: das Rhomboëder, die sechsseitige Säule, Figur 14. Die doppelte sechsseitige Pyramide, Figur 15.

5) Alle drei Achsen sind ungleich, und nur zwei zu einander senkrecht. *Das zwei- und eingliedrige oder monoklinische System.* Beispiel: die schiefe rhombische Säule, Fig. 16.

6) Alle drei Achsen sind ungleich und keine zur andern senkrecht. *Das ein- und eingliedrige, auch triklinische System.*

Bei der Krystallisation entsteht nach den mikroscopischen Untersuchungen Ehrenbergs zuerst plötzlich ein fester Punkt in der durchsichtigen Flüssigkeit, welcher mit erstaunlicher Geschwindigkeit wächst. Dabei ist aber nicht die mindeste Strömung in der Flüssigkeit, noch irgend eine Trübung zu bemerken, welches doch der Fall sein müsste, wenn die Verdichtung vermöge der Anziehungskraft bis zum Rande des Krystalls hin allmälig zunähme, und daher ist auch diese

Grunderscheinung noch sehr räthselhaft. Jedenfalls ergibt sich aus der Entstehu des Krystalls, dass bei den regulären Krystallen Kräfte thätig gewesen sein müss die nach allen Seiten gleich stark wirkten, während z. B. bei den Krystallen vierten Systems die Anlagerung der Atome in der Richtung der Hauptachse ni ebenso erfolgte, als in der dazu senkrechten Richtung. Dies ist ohne Zweifel Ursache, warum die regulären Krystalle z. B. nach jeder Richtung gleiche Elasti tät haben, sich in der Wärme gleichförmig ausdehnen und das Licht mit gleicl Geschwindigkeit durchlassen, während dieses bei den Krystallen der fünf and Systeme nicht der Fall ist.

§. 27.

Die Krystalle bilden sich in Auflösungen, aus verdampfenden u geschmolzenen Körpern. Im ersten Falle muss das Auflösungsmit entweder erkalten oder zum Theil verdampfen oder stark zusamm gepresst werden, oder, durch Zusatz eines Stoffes, eine Zersetzung leiden. Im letzten Falle muss der Körper langsam abkühlen. Beispi hierzu gibt das Krystallisiren des Alauns, des schwefelsauren Kupf oxyds durch Zusatz von Weingeist und des Wismuths oder Schwefe dessen erstarrte Oberfläche man durchbohrt, während er innen no flüssig ist, und nachdem man einen Theil des Flüssigen herausgegoss den übrigen Theil krystallisiren lässt.

Die Beförderung der Krystallisation durch Berührung der Auflösung mit ein Krystall desselben Stoffes, so wie die Ergänzung abgebrochener Theile eines K stalls durch Eintauchen desselben in eine gleichartige Auflösung, sieht man besten, wenn man einen Kochsalzkrystall in eine Salzauflösung legt. Um gröss Krystalle zu erhalten, legt man die schönsten der schon gewonnenen Krystalle st mit einer andern Fläche nach unten in eine neue Auflösung, oder man bringt schon zum Theil krystallisirte Flüssigkeit abwechselnd von einem kalten an eir wärmern Ort; da nun die kleinen Krystalle schneller aufgelöst werden, als grossen, indem sie dem Auflösungsmittel verhältnissmässig mehr Oberfläche darb ten, und bei dem Erkalten doch alle um gleichviel zunehmen, so vergrössern s die grossen auf Kosten der kleinern, oft bis zum Verschwinden der letztern. I vollkommenste Symmetrie haben die Krystalle, die in einer halbflüssigen Masse v fast gleichem spezifischem Gewicht entstehen. In manchen Fällen hat auch die I rührung der Lösung mit einem krystallinischen Körper Einfluss auf die Lage Kanten der sich bildenden Krystalle. *Frankenheim* hat dies auf folgende We nachgewiesen: Man bedeckt ein frisch gespaltenes Glimmerplättchen mit ein Tropfen Jodkalium Lösung. Unter dem Mikroscop erscheinen dann die sonst w felförmigen Krystalle in grosser Anzahl als Dreiecke. Die Kanten aller dieser Dr ecke sind einander parallel; jedoch so, dass ein Theil die Lage △ ein anderer Lage ▽ hat.

Die haarförmigen, baumartigen (z. B. der Dianenbaum) und andere Ar von Krystallisationen sind regellose Verbindungen mehrerer Krystalle. Oft w auch die Krystallisation befördert durch eine Erschütterung wie beim Glaubers welches man in gleichviel Wasser von 36° C. aufgelöst und wieder erkältet h Ein interessantes Beispiel von Aenderung des Gleichgewichtszustandes in den A men gibt Doppeljodquecksilber. Verdampft man dieses in einem Uhrglase, ül welches ein anderes gedeckt ist, so schlagen sich an diesem gelbe Krystalle nied Berührt man einen dieser Krystalle mit einem spitzen Körper, so wird er blutro krümmt und windet sich und nimmt eine ganz andere Krystallform an. *Mitsch lich* hat an vielen krystallisirten Körpern nachgewiesen, dass mit der Tempera ihre innere Structur sich ändert, während ihre Form bleibt.

Von der Mutterlauge werden oft, besonders bei schneller Krystallisati kleine Mengen *mechanisch* in den Krystall eingeschlossen, die sich bei der Erhitzu in Dämpfe verwandeln und das *Verknistern* veranlassen. Das von dem Krys *chemisch* gebundene *Krystallisationswasser* hat einen wesentlichen Einfluss auf Form desselben. Der Verlust des Krystallisationswassers veranlasst das Verwitte die Aufnahme von Wasser aus der Luft das Zerfliessen. Durch das Krystallisi werden manche Körper härter und durchsichtig wie der Kohlenstoff als Diama

andere werden nur theilweise härter, weil sie nur theilweise krystallisirt sind, wie der langsam erkaltete Gussstahl, das Metallmoor und der damascirte Stahl. Durch gewisse Aetzmittel kann an solchen Körpern das Krystallgefüge sichtbar gemacht werden.

§. 28.

Um sich die in dem Vorhergehenden beschriebene Verschiedenheit der Körper zu erklären, kann man annehmen, dass die Materie aus jenen ergänzenden Massentheilchen (§. 26.) zusammengesetzt sei. Damit tritt man weder dem dynamischen noch dem atomistischen Systeme bei, indem man diese Massentheilchen entweder selbst als das Resultat zweier entgegengesetzten Kräfte betrachten oder für Atome in vollem Sinne halten kann.

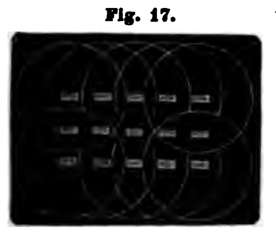
Die Massentheilchen berühren sich nicht, sondern sie werden durch die Molekularkräfte auf die schon angegebene Art in einer gewissen Entfernung von einander gehalten. Diese Kräfte wirken jedoch nur in sehr kleinen Entfernungen, wie man daran sehen kann, dass zerbrochene Körper mit unebenen Flächen sich nicht wieder vereinigen lassen.

Die verschiedene Gestalt der Massentheilchen endlich ist als die Ursache der Krystallisation der Körper zu betrachten. Obgleich man nicht darüber einig ist, welche Form denselben zukommen mag, so folgt doch aus dem Vorhergehenden, dass sie von ebenen Flächen begränzt sind. Der Mittelpunkt eines Massentheilchens kann sich dann dem eines andern nähern, indem sie sich parallele Flächen darbieten. Dadurch ist die Regelmässigkeit in der Struktur möglich. Mit dieser Annahme steht die Voraussetzung, dass die Atome Kugeln seien, in keinem Widerspruche, indem man durch Combination kleiner Kugeln jede beliebige Gestalt der Massentheilchen hervorbringen kann.

Der Unterschied zwischen festen und flüssigen Körpern beruht demnach auf Folgendem:

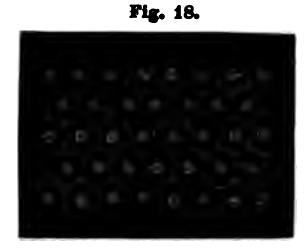
In den festen Körpern bilden die Atome Massentheilchen von verschiedenen Gestalten, welche von ebenen Flächen begränzt sind, wie in Fig. 17. Die anziehende Kraft eines jeden erstreckt sich innerhalb der kleinen Kreise auf die benachbarten Massentheilchen. Da sie nun von ebenen Flächen begränzt sind, so werden sie nicht nach allen Seiten gleichstark angezogen, besonders auch wenn sie nach gewissen Richtungen einen ungleichen Abstand haben, und müssen daher eine feste Lage gegen einander annehmen. Daher ist die abstossende Kraft oder die Elastizität des Aethers mit der anziehenden im Gleichgewicht. Werden daher durch den Druck die Theile einander genähert, so entfernt die abstossende Kraft sie nach aufhörendem Druck wieder von einander, und hat man einen Körper gewaltsam gedehnt, so sucht die anziehende Kraft seine Theilchen einander wieder zu nähern. Bei einer verschiedenen Anordnung der Massentheilchen kann in festen Körpern auch ein anderer Gleichgewichtszustand eintreten, wie das Beispiel in §. 27 Anmerk. zeigt.

Fig. 17.



Bei tropfbar flüssigen Körpern sind die Atome in gleichen Abständen von einander, etwa wie die kleinen Kugeln in Fig. 18. Jedes Atom ist von einer Aethersphäre umgeben, welche die Berührung verhindert.

Fig. 18.



Die Anziehung der Atome im Innern ist bei ihrer Kugelgestalt nach allen Seiten gleichstark. Daher kann auch die kleinste Kraft eine Verschiebung derselben bewirken.

Bei den elastischen Flüssigkeiten hat die zurückstossende Kraft ein solches Uebergewicht über die anziehende, dass diese dagegen verschwindet. Elastische Flüssigkeiten dehnen sich darum, wenn sie nicht durch Druck, Anziehung oder durch ein Gefäss zusammengehalten werden, so lange aus, bis ihre Ausdehnsamkeit der pressenden Gegenkraft das Gleichgewicht hält.

§. 29.

Die Kraft, mit welcher die Massentheilchen oder Atome eines und desselben festen Körpers zusammengehalten werden, heisst *Cohäsion.* Der Widerstand, welchen ein Körper vermöge seiner Cohäsion beim Zerreissen leistet, heisst seine *absolute Festigkeit*, der, welchen er beim Zerbrechen leistet, die *relative Festigkeit*, und die Kraft, die man braucht, um ihn zu zerdrücken, die *rückwirkende Festigkeit* desselben. Ausserdem kann auch die Cohäsion noch durch *Zerdrehen* überwunden werden.

Um die absolute Festigkeit der Körper zu bestimmen, wird der Körper an einem Ende vertikal befestigt und am andern nach und nach mit Gewicht beschwert, bis er reisst. Die Erfahrung lehrt, dass die absolute Festigkeit mit der Grösse seines Querschnittes wächst. Vor dem Zerreissen verlängert sich der Körper und wird an der Trennungsstelle dünner. Durch Versuche von Eitelwein, Tretgold u. A. hat man gefunden, dass bei 1 □Centimeter Querschnitt die absolute Festigkeit der Körper durch folgende Zahlen in Kilogrammen ausgedrückt wird:

Stahl, harter	10820	Zink	198
Eisen, geschmiedet	5343	Blei	62
„ deutsches	4816	Glas	192
„ englisches	6611	Eichenholz Kern	1819
Eisendraht	6434	„ Splint	1005
Silber, gegossen	2884	Weissbuchen	1395
Kupfer, geschmiedet	2325	Buchs	1080
Gold, gegossen	1438	Weisstanne	957
Messing	1265	Mahagoni	600
Zinn	421	Hanfseile	615

Will man von dieser Tabelle praktische Anwendung machen, so ist es rathsam, bei Metallen den vierten Theil und bei Hölzern nur den dritten Theil der Tragkraft anzunehmen im Zustand der Ruhe; bei Bewegungsmaschinen noch weniger. Folgende Aufgabe zeigt die Nützlichkeit solcher Untersuchungen: Man soll den Durchmesser eines eisernen Drahtes bestimmen, welcher 200000 Kilogr. zu tragen hat. Ist der Durchmesser $= x$ Centim., so ist die Fläche des Querschnittes $= \frac{3,14 x^2}{4}$ also die Tragkraft mit Sicherheit $\frac{3,14 x^2}{4} \cdot \frac{6434}{4}$ und diese soll $= 200000$ Kilogramm sein. Daraus folgt $x = 12,64$ Centimeter. Werden die Eisendrähte mit mehr als $^1/_4$ ihrer Tragkraft gespannt, so verlängern sie sich nahezu der Zeit proportional, werden dadurch schwächer und reissen. Durch Ausglühen nimmt die Dichte der Metalle ab, durch Hämmern, Walzen und Pressen aber zu.

Stricke, die aus feinen Fäden bestehen und wenig gedreht sind, zeigen mehr Cohäsion, als solche, die aus gröbern Fäden bestehen und stark gedreht sind. Ebenso ist auch ein Seil, aus vielen Eisendrähten gewunden, stärker, als ein gleich langer und gleich schwerer Stab von Eisen, weil der Draht beim Ziehen eine dich-

tere Oberfläche erhält. Die Körper zeigen übrigens nicht nach allen Richtungen gleiche Cohärenz, weil ihre Massentheilchen sich nach gewissen Richtungen stärker anziehen. Auch flüssige Körper leisten bei erfolgender Trennung einen Widerstand, welchen wir später kennen lernen werden. Die Cohäsion wird nach den Versuchen von *Buijs-Ballot* proportional mit der Wärmezunahme vermindert. Manche Körper werden durch schnelles Abkühlen spröde, wie Stahl und Glas. Die Sprödigkeit des letztern kann zum Theil durch Kochen in Oel oder Wasser gehoben werden. Der Tam-Tam dagegen, welcher aus 4 Kupfer auf 1 Zinn besteht, wird dehnbar, wenn man ihn schnell abkühlt, und ist hart und spröde wie Glas bei langsamer Abkühlung.

Der glühende Stahl wird *gehärtet*, wenn man ihn plötzlich in eine kalte Flüssigkeit, Wasser, Oel oder Talg taucht. Zuweilen kühlt man ihn auch durch rasche Bewegung in der Luft ab. Die Sprödigkeit, die der Stahl durch das Härten erhält, benimmt man ihm zum Theil wieder durch das *Anlassen*. Der harte Stahl wird dabei gelinde erwärmt und langsam erkältet. Die verschiedenen Grade der Hitze bestimmen den Grad des Anlassens und der Farbe des Stahls, sowie seine Brauchbarkeit zu verschiedenen Zwecken. Vollkommen hart ist er weiss und glashart. Bei 177° R. blassgelb, bei 185° strohgelb, bei 194° goldgelb, bei 203° braun, bei 222° purpurfarbig, bei 230° hellblau, bei 234° vollblau, bei 253° dunkelblau.

Chemische Beimengungen verändern die Cohärenz der Körper. Eisen wird durch 1—2 pC. Kohle zu Stahl, durch 1 pC. Phosphor spröde, durch wenig Phosphor und etwas Mangan besser, durch 1 pC. Silber sehr hart.

§. 30.

Die relative Festigkeit der Körper bestimmt man, indem man parallelepipedische Stücke an beiden Enden unterstützt, und in der Mitte so lange belastet, bis sie brechen. Man hat durch Versuche gefunden, dass bei Körpern von einerlei Materie die Tragkraft im geraden Verhältnisse der Breite und des Quadrats der Höhe und im umgekehrten der Länge steht. Bei spröden Körpern trennen sich alle Theile an der brechenden Stelle zugleich; bei elastischen und zähen Körpern tritt die Trennung zuerst an der convexen Seite ein.

Heisst daher die Breite eines parallelepipedischen Körpers b, die Höhe h, die Länge l, so ist die Tragkraft dem Ausdruck $\frac{b\,h^2}{l}$ proportional. Nach Tredgolds Versuchen vermögen folgende Körper, ohne ihre Form bleibend zu ändern, das Gewicht $W = \frac{2\,f\,b\,h^2}{3\,l}$ zu tragen, wenn durch f die neben jedem Körper stehende Zahl in Kilogrammen und durch b, h und l, die Breite, Höhe und der Abstand der Unterstützungspunkte in Centimetern ausgedrückt sind.

Schmiedeeisen	1252	Tanne, rothe	302
Gusseisen	1076	„ weisse	255
Messing	471	Buche	166
Eiche	272		

Hier ist also W nicht das Gewicht, bei dem die Körper brechen, sondern dasjenige, bei welchem sie ausdauern können; was für die Praxis weit wichtiger ist. Ist ein Balken nur an einem Ende horizontal befestigt, so trägt er am andern nur den vierten Theil; ist die Last gleichmässig verbreitet, so trägt er das Doppelte. Ist der Querschnitt eines Baumstammes ein Kreis, so findet man den stärksten Balken, der sich daraus hauen lässt, wenn man den Durchmesser in drei gleiche Theile theilt und in dem ersten Theilungspunkt zu ihm eine Senkrechte bis an die Peripherie aufwärts, in dem zweiten eine gleiche Linie abwärts zieht und die Enden dieser Senkrechten, mit den Enden des Durchmessers verbindet. Bei schweren und langen Balken muss man das Gewicht derselben von der Tragkraft abziehen.

Hohle Cylinder sind bei gleichem Gewicht stärker, als massive. Nach der Erfahrung ist beim Eisen das beste Verhältniss des innern zum äussern Durchmesser ohngefähr wie 3 : 4. Durch zweckmässige Formen anderer Art wird die Tragkraft der Stäbe, Waagbalken, Balanciers u. s. w. ebenfalls vermehrt, ohne Vermehrung ihrer Masse.

§. 31.

Die rückwirkende Festigkeit oder die Kraft, welche man braucht, um Körper zu zerdrücken, ist bei Körpern von gleicher Materie, dem Würfel der Dicke, multiplicirt mit der Breite, direct, und dem Quadrat der Länge, umgekehrt proportional, wenn unter der Dicke die kleinste Seite des rechtwinklichten Querschnitts verstanden wird. Ist die gedrückte Fläche gross im Verhältniss zu der mit dem Druck parallelen Ausdehnung des Körpers, so ist die Kraft, welche das Zerdrücken bewirkt, proportional dieser Fläche.

Nach den Versuchen von *Rennie* und Andern wird ein Kubikcentimeter folgender Körper durch die danebenstehende Anzahl von Kilogrammen zerdrückt:

Gusseisen	7954	Marmor	520
Messing	10830	Sandstein, harter	544
Granit	526	Eichenholz	295
Kalkstein, fester	505	Mauerziegel	52

Von diesen Zahlen kann man höchstens ein Zehntheil als wirkliches Tragvermögen annehmen.

§. 32.

Ueber den Widerstand, welchen Haare, Saiten oder Drähte, die an einem Ende befestigt sind, leisten, wenn sie am andern eine Drehung erhalten, hat Coulomb zuerst genauere Versuche angestellt und gefunden, dass bei elastischen Drähten dieser Widerstand dem Winkel proportional ist, um welchen der Draht gedreht wird. Elastische Federn befolgen beim Zusammendrücken oder Auseinanderziehen derselben ebenfalls das Gesetz, dass ihr Widerstand innerhalb der Elastizitätsgränze den bewirkten Raumveränderungen proportional ist. Auch wenn eine Saite horizontal ausgespannt ist und in der Mitte durch ein Gewicht von 1 Pfund um 1 Centimeter herabgebogen wird, so beträgt diese Biegung bei 2, 3, 4 Pfund, auch 2, 3, 4 Centimeter, und ist also dem Druck proportional.

Wird bei der Drehung eines Körpers, z. B. eines Wellbaums, die Elastizitätsgränze überschritten, so wird er abgedreht. Die dazu erforderliche Kraft steht bei massiven Cylindern in geradem Verhältniss mit der vierten Potenz des Durchmessers und im umgekehrten mit der Länge. Man lernt diese und alle Arten von Festigkeit für verschiedene Formen und Materialien am besten aus besondern Tabellen über Architektur und Maschinenbau kennen.

§. 33.

Werden zwei sehr ebene Platten von Glas, Metall, Marmor oder dergleichen mit einander in Berührung gebracht, so erfordert es immer einige Gewalt, um sie wieder von einander zu trennen. Die Kraft, mit der sie zusammengehalten werden, ist ohne Zweifel eine Folge der Anziehungskraft ihrer Massentheilchen; denn sie nimmt zu mit der Zahl der Berührungspunkte und hört ganz auf merklich zu sein, wenn ein noch so feines Papierblättchen dazwischen gebracht wird. Auch ist sie unter sonst gleichen Umständen zwischen dünnen Platten ebenso gross, als zwischen dicken. Diese Anziehung zwischen zwei gleichartigen oder ungleichartigen Körpern, die sich an ihren Oberflächen *berühren*, möge hier *Adhäsion* zur Unterscheidung von Cohäsion heissen. Dass die Ad-

häsion der Cohäsion bei gleichartigen Körpern nicht gleich ist, folgt hauptsächlich daraus, dass die Oberflächen nie vollkommen eben sind, und dass eine dünne Luftschichte die vollkommene Berührung verhindert. Bringt man zwei sehr ebene, frisch geschabte Bleicylinder in Berührung und presst man sie zusammen, so sind sie nur mit grosser Kraft von einander zu trennen. Weil das Blei weich ist, haben sich ohne Zweifel manche Massentheilchen des einen Cylinders, denen des andern so sehr genähert, dass sie *eine* Masse bilden und dass nun für sie die Cohäsion zu überwinden ist.

Wenn man eine Glasplatte mit der Oberfläche des Wassers in Berührung bringt, so ist ebenfalls eine gewisse Kraft nöthig, um sie wieder davon zu trennen. Nach erfolgter Trennung haften aber die Wassertheilchen noch an der Platte. In diesem Falle ist also nicht die Adhäsion der Wassertheilchen zum Glas, sondern die Cohäsion der Wassertheilchen unter sich überwunden worden.

Dies ist zugleich der Weg, auf welchem Buijs-Ballot zur Bestimmung der Cohäsion der Flüssigkeiten gekommen ist. Er nahm eine ebene viereckigte Platte von Glas oder Metall, die an drei Fäden an dem einen Arm einer Waage hing und genau horizontal gestellt werden konnte. So wurde sie mit der Flüssigkeit in Berührung gebracht und durch ein Gewicht am andern Arm der Waage wieder abgerissen. Dies erforderte bei Wasser von 10° für jeden Quadratcentimeter Fläche 0,5568 Gramm, für eine Platte von *n* □Centimeter also ein Gewicht von 0,5568 . *n* Gr. Durch die Auflösung von Salzen im Wasser nimmt seine Cohäsion ab. Die Wärme vermindert diese Cohäsion proportional der Anzahl der Grade. Letztere ist für Wasser zwischen 10 und 40° für *t* Grad Wärme nur 0,5568—0,00108 *t*. Aus dem Obigen folgt, dass die Höhe, bis zu der eine Wassersäule auf obige Art gehoben werden kann, ehe sie abreisst, bei 10° nur 0,5568 Centim. oder 5,568 Millim. beträgt, weil eine höhere Wassersäule ein grösseres Gewicht hat.

Manche Körper, wie Glas und Platina, verlieren oft ihre Adhäsion zum Wasser; man kann sie ihnen aber augenblicklich wieder ertheilen, wenn man sie stark erhitzt und dann schnell in Wasser taucht. Nach *Prechtl* ist die Adhäsion zweier Metallplatten, z. B. zweier Kupferplatten, gleich der Adhäsion einer dieser Platten zu einem andern Metall, z. B. zu einer Zinkplatte, wenn zwei Platten des letztern Metalls unter sich weniger Adhäsion haben, als die erstern.

B. Innere oder chemische Verschiedenheit der Körper.

§. 34.

Die innere Verschiedenheit der Körper erkennt man theils unmittelbar durch die Sinne, wie z. B. die des Kochsalzes und Zuckers durch den Geschmack, theils durch die verschiedene Wirkungsweise derselben auf andere Körper. Manche Harze lösen sich z. B. im Weingeist auf, im Wasser nicht; Silber wird in Salpetersäure zu einem Salze, dem salpetersauren Silberoxyd oder Höllenstein, erhitzter Schwefel verbindet sich mit Quecksilber zu einem ganz verschiedenen Körper, dem Zinnober; die geringste Menge von Stärkmehl bildet bei Zusatz von Jodtinktur einen neuen blauen Körper, die Jodstärke u. s. w. Die Verbindung eines Körpers mit einem andern zu einem *gleichartigen Ganzen*, wie der aus Salpetersäure und Silber entstandene Höllenstein, oder der Zinnober oder

die Verbindung des Jod mit Stärkmehl, heisst eine *chemische Verbindung;* die speziellen Eigenschaften der Bestandtheile sind gleichsam verschwunden und es ist ein mit ganz andern Kräften und Merkmalen begabter Körper entstanden. So ist z. B. das Ammoniak eine Verbindung von den ganz geruchlosen Gasen Wasserstoff und Stickstoff. Eine solche chemische Mischung oder Verbindung ist wohl zu unterscheiden von einem mechanischen Gemenge. Die Kraft, welche die kleinsten Theile ungleichartiger Körper, so wie grössere Massen, auf diese Art zu verbinden strebt, heisst *chemische Anziehung;* und von den sich verbindenden Körpern sagt man, dass sie *chemische Verwandtschaft, Affinität* zu einander haben.

§. 35.

Die chemische Verwandtschaft der Körper wirkt nur bei der unmittelbaren Berührung ihrer Theile, desshalb wird die Verbindung sehr durch Vergrösserung ihrer Oberfläche, also durch Pulverisirung, durch Umrühren und durch das Flüssigsein des einen oder des andern befördert; eben so durch Wärme, weil diese den Zusammenhang der Theile vermindert und die Cohärenz derselben jedenfalls erst aufgehoben werden muss. Oft wird auch die Verwandtschaft zweier Körper durch einen dritten, oft durch Licht, Wärme, Elektrizität vermehrt. Oft auch begünstigt die Anwesenheit eines Körpers mit grosser Oberfläche die Verbindung, indem die gasförmigen Körper an ihm verdichtet werden, oder die Affinität eines Körpers ruft in dem mit ihm berührten Körper Verwandtschaft zu einem dritten hervor. Die Affinität entwickelt sich besonders auch in dem *Status nascendi* oder in demjenigen Zustande, in welchem sich ein Körper befindet in dem Augenblicke, wo er aus einer andern Verbindung frei wird, wie z. B. Stickgas und Wasserstoffgas sich nur im Freiwerden aus andern Substanzen vereinigen.

§. 36.

Bringt man einen festen oder flüssigen Körper mit einer andern Flüssigkeit in Berührung, so wirken sie entweder gar nicht auf einander, oder sie vermengen sich so innig, dass sie nicht mehr von einander unterschieden werden können. In diesem Falle sagen wir, der eine Körper habe sich im andern aufgelöst. Manche Stoffe verbinden sich so in jedem Verhältniss mit einander, z. B. Schwefelsäure mit Wasser, Wasser mit Weingeist u. s. w. Bei andern nimmt der eine Körper höchstens eine gewisse Menge des andern auf; in 100 Theilen Wasser kann man nie mehr als 27 Theile Kochsalz auflösen. In diesem Zustande heisst das Auflösungsmittel *gesättigt.* Der Sättigungszustand ändert sich bei manchen Körpern mit der Temperatur, bei andern nicht. So löst heisses Wasser mehr Salpeter auf, als kaltes, und kaltes Wasser mehr Kalk, als warmes, während dieselbe Menge Kochsalz in heissem wie in kaltem Wasser aufgelöst wird. Bei den Auflösungen muss man sich denken, dass die Theilchen des einen Körpers sich zwischen die des andern regelmässig vertheilen. Dabei erleidet weder der aufgelöste Körper noch das Auflösungsmittel die geringste Veränderung, und es kann sogar durch mechanisches Entfernen des Auflösungsmittels der aufgelöste Körper mit unveränderten Eigenschaften wieder gewonnen werden. Bei

einer Zucker- oder Kochsalzlösung in Wasser erhält man z. B. durch blosses Verdunsten des Wassers den Zucker oder das Kochsalz wieder.

§. 37.

Wenn sich aber Körper chemisch mit einander verbinden, so entsteht immer ein ganz neuer Körper und dabei beobachtet man, dass diese Verbindungen nur nach ganz bestimmten Gewichtsverhältnissen geschehen. So verbindet sich 1 Gewichtstheil Wasserstoff mit 8 Gewichtstheilen Sauerstoff zu Wasser, ferner 1 Gewichtstheil Wasserstoff mit 35,4 Gewichtstheilen Chlor zu Salzsäure. Um allgemeine Zahlen für die Gewichtsverhältnisse, in denen sich die Körper verbinden, angeben zu können, nehmen noch Manche in den Verbindungen mit dem Sauerstoff, welcher die meisten Verbindungen eingeht, an, die Gewichtsmenge des letztern sei 100. Die Zahlen, welche alsdann für die andern Stoffe angegeben werden, drücken aus, wie viele Gewichtstheile von jedem erforderlich sind, um sich, in der kleinsten Menge, mit 100 Gewichtstheilen Sauerstoff zu verbinden. Diese Zahlen nennt man die *Mischungsgewichte* oder *Aequivalente* der Körper. Das Mischungsgewicht des Eisens ist 340, heisst also: 100 Theile Sauerstoff verbinden sich mit 340 Theilen Eisen. Diese Verbindung heisst Eisenoxydul. Ein Theil der Chemiker nimmt das Mischungsgewicht des Wasserstoffs, weil es das kleinste ist, gleich 1 an. Diese Annahme ist vorzuziehen, weil bei ihr die Zahlen einfacher werden und leichter zu behalten sind.

§. 38.

Manche Stoffe verbinden sich auch in zwei, drei und mehreren Verhältnissen. So z. B. sei das Mischungsgewicht des einen a und das des andern b, so stehen alsdann dieselben in den einfachen Verhältnissen von a zu b oder $1\frac{1}{2}b$, $2b$, $2\frac{1}{2}b$, $3b$ u. s. w. So z. B. verbindet sich 1 Wasserstoff mit 8 Sauerstoff zu Wasser und mit $2 . 8 = 16$ Sauerstoff zu Wasserstoffhyperoxyd. Man sagt alsdann, Wasser besteht aus 1 Mischungsgewicht Wasserstoff auf 1 Mischungsgewicht Sauerstoff; und Wasserstoffhyperoxyd aus 1 Mischungsgewicht Wasserstoff auf 2 Mischungsgewichte Sauerstoff. Eben so gut könnte man aber auch annehmen, Wasser bestünde aus 2 Mischungsgewicht Wasserstoff und 1 Mischungsgewicht Sauerstoff. Nur müsste alsdann Wasserstoffhyperoxyd aus 2 Mischungsgew. Wasserstoff auf 2 Mischungsgew. Sauerstoff bestehen. Im ersten Fall ist das Mischungsgew. des Wassers 1 und im andern $\frac{1}{2}$; in beiden aber das des Sauerstoffs = 8. (Die erste Annahme stimmt auch mit der elektrischen Theorie der chemischen Zersetzungen überein.)

Um die Verhältnisse, in denen die Körper sich mit einander zu chemischen Verbindungen vereinigen, auf kürzere Weise auszudrücken, hat man gewisse Zeichen eingeführt, bei denen meist ihre lateinischen Namen zu Grunde gelegt sind. So bezeichnet man z. B. die 8 Gew.-Theile Sauerstoff (Oxygenium) oder 1 Misch.-Gewicht desselben durch O. 1 Misch.-Gewicht Wasserstoff (Hydrogenium) durch H. Zwei Misch.-Gew. Sauerstoff durch O^2 und eine Verbindung von 1 Misch.-Gewicht Wasserstoff und 2 Misch.-Gew. Sauerstoff durch HO^2. 1 Misch.-Gew. Schwefel durch S und Schwefelsäure durch SO^3, weil sie 3 Misch.-Gew. Sauer-

stoff enthält. Enthält sie auch noch 1 Misch.-Gew. Wasser, so wird dies ausgedrückt durch SO^3, HO oder $SO^3 + HO$.

Für die wichtigsten Stoffe folgen hier die Zeichen und die Mischungsgewichte:

Wasserstoff	H	1	Kalium	K	39,2	Kupfer	Cu	31,8
Sauerstoff	O	8	Zink	Zn	32,2	Quecksilber	Hg	101,4
Kohlenstoff	C	6	Zinn	Sn	59	Silber	Ag	108,1
Schwefel	S	16	Blei	Pb	103,8	Gold	Au	199
Chlor	Cl	35,4	Eisen	Fe	27,2	Platin	Pt	98,7

§. 39.

Durch das folgende Gesetz erhalten die Verbindungen in bestimmten Verhältnissen, deren nähere Kenntniss man vorzüglich *Richter* und *Berzelius* verdankt, eine grosse Wichtigkeit:

Die Summe der Mischungs-Gewichte von den Bestandtheilen gibt das Mischungs-Gewicht der Verbindung. So z. B. ist Schwefelsäure gleich 16 Schwefel und 24 Sauerstoff; daher das Mischungsgewicht der Schwefelsäure = 40; ferner ist Bleioxyd = 104 Blei und 8 Sauerstoff, also das Mischungsgewicht des Bleioxyds = 112, und in der That vereinigen sich 40 Schwefelsäure mit 112 Bleioxyd zu schwefelsaurem Bleioxyd. Das merkwürdigste dabei ist, dass gerade die schönsten und nützlichsten Verbindungen dann entstehen, wenn die Anzahl der Mischungsgewichte des einen Stoffes zu der des andern ein einfaches Verhältniss hat. So z. B. ist Wasser = 1 Misch.-Gew. Wasserstoff und 1 Sauerstoff. Kochsalz = 1 Misch.-Gew. Natrium und 1 Misch.-Gew. Chlor.

Bei gasförmigen Körpern erstreckt sich dieses Gesetz sogar auf ihr Raumverhältniss, so dass sie sich in den einfachen Verhältnissen von 1 zu 2, 1 zu 3, 2 zu 3 . . . Maass mit einander verbinden. *Das Volumen der Verbindung beträgt alsdann entweder die Summe der Volumen der verbundenen Gase oder es beträgt* $^1/_2$, $^2/_3$ *dieser Summe.* Die Entdeckung dieses Gesetzes verdankt man *Gay-Lussac.*

Aus den Mischungsgewichten und der Dichte zweier festen Körper ergeben sich die Volumen, in denen sie sich mit einander verbinden. Denn ist das Mischungsgewicht des Schwefels z. B. = 16 und das des Zinks = 32, so verbinden sich also 16 Gr. Schwefel mit 32 Gr. Zink zu Schwefelzink. Da aber das spezifische Gewicht des Schwefels = 2 und das des Zinks = 6,9, so ist nach §. 22, das Volumen des Schwefels $= \frac{16}{2} = 8$ und das des Zinks $= \frac{32}{6,9} = 4,6$, daher nennt man 8 das *Aequivalent-Volumen* des Schwefels und 4,6 das des Zinks. Durch die Arbeiten mehrerer Chemiker, besonders von *H. Schröder*, ist es wahrscheinlich geworden, dass das Volumen der Verbindung in sehr einfachen Beziehungen zu dem seiner Bestandtheile steht. So ist z. B. das spezifische Gewicht des Schwefelzinks nach der Erfahrung = 3,9, sein Mischungsgewicht wie oben 16 + 32 = 48, sein Aequivalent-Volumen wäre demnach $\frac{48}{3,9} = 12,3$ und wenn man die obigen Volumen seiner Bestandtheile addirt, so erhält man 8 + 4,6 = 12,6 oder es ist ziemlich genau das Volumen des Schwefelzinks gleich der Summe Volumen seiner Bestandtheile. Aus diesem und vielen andern Bei-

spielen scheint ein ähnliches Gesetz wie das obige bei den Gasen zu folgen; nur muss man auch hier zuweilen eine Verdichtung des einen oder des andern Elements auf $^1/_2$, $^2/_3$, $^3/_4$ seines Volumens annehmen.

§. 40.

Viele Körper, die aber aus verschiedenen Stoffen zusammengesetzt sind, nehmen bei der Krystallisation gleiche Krystallform an, wenn in ihnen z. B. ein Mischungsgewicht des einen auf ein Mischungsgewicht des andern kommt, und heissen daher *isomorph*. Auch kann ein Element aus einer solchen Verbindung austreten und durch ein anderes ersetzt werden, ohne dass die Krystallform sich merklich ändert. Sind die Mischungsgewichte wenig verschieden, so treten nur kleine Unterschiede in der Form ein. *Berzelius* nahm darum an, dass die Anzahl der Atome in solchen Körpern gleich sei, und dass sie bei gleicher Grösse durch die zurückstossende Kraft auch in gleicher Entfernung gehalten würden und sich regelmässig zwischen einander lagerten. Ebenso schliesst er da, wo z. B. ein Maass eines gasförmigen Körpers sich mit 1 Maass eines andern verbindet, auf eine gleiche Anzahl von Atomen. Obgleich man nun das absolute Gewicht dieser Atome nicht bestimmen kann, so müsste doch das Gewichtsverhältniss derselben das nämliche sein, wie das von 1 Maass des ersten zu 1 Maass des andern Körpers. So bildet z. B. 1 Maass Wasserstoffgas mit 1 Maass Chlorgas 2 Maasse Hydrochlorgas, oder dem Gewicht nach bildet 1 Gewichtstheil Wasserstoffgas mit 1 Mischungsgewicht oder 35,4 Gewichtstheilen Chlor, 36,4 Gewichtstheile Hydrochlorgas. Nimmt man nun an, in 1 Maass Wasserstoffgas seien x Atome und eben so viele in 1 Maass Chlorgas enthalten, so wiegt 1 Atom Wasserstoff $\frac{1}{x}$, während 1 Atom Chlor $\frac{35,4}{x}$ wiegt. Das Verhältniss der Atomgewichte ist also unter dieser Voraussetzung dasselbe wie das der Mischungsgewichte. Dies ist die Ursache, warum Viele statt *Aequivalent-* oder *Mischungsgewicht*, den Ausdruck *Atomgewicht* setzen. Wenn gleichwohl in vielen Fällen die Summe der Volumina der Bestandtheile nicht dem Volumen der Verbindung gleich ist, wie z. B. beim Wasser, wo 2 Maass Wasserstoffgas und 1 Maass Sauerstoffgas nur 2 Maass Wasserdampf von gleicher Spannkraft und Temperatur geben, so kann dies daher rühren, dass in den 2 Maass Wasserstoff eben so viel Atome enthalten sind, als in 1 Maass Sauerstoff, dass sie aber eine grössere Menge Aether oder Wärme enthalten. Bei der Verbindung zu 2 Maass Wasserdampf treten die Atome des Wasserstoffs und Sauerstoffs in ein neues Gleichgewichtsverhältniss mit dem Aether, und der überflüssige Aether wird als Wärme ausgeschieden. Ebenso erklärt man die Ausnahme von dem Gesetz des Isomorphismus, wornach z. B. ein Atom des einen auf 1 Atom des andern immer dieselbe Krystallgestalt geben müsste, dadurch, dass man annimmt, die Atome lagern sich in solchen Fällen auf verschiedene Weise, oder das Volumen des einen Elements verdichte sich nach einem andern Verhältniss. Jedenfalls wird dadurch nicht nur eine Verschiedenheit in der Form, sondern auch in andern Eigenschaften veranlasst. Solche Körper, welche aus gleichartigen und gleichvielen Theilen zusammengesetzt und doch in ihrem Verhalten verschieden sind, heissen *isomerisch*.

§. 41.

Die Neigung eines Stoffes, sich mit einem andern zu verbinden, wird oft durch die Affinität eines dritten übertroffen. So z. B. ist Kreide eine Verbindung von Kohlensäure und Kalk. Uebergiesst man sie mit Schwefelsäure, so verbindet sich diese mit dem Kalk, und die Kohlensäure entweicht unter heftigem Aufbrausen. Die Ursache davon liegt wahrscheinlich darin, dass die Gesetze des Gleichgewichts zwischen den Atomen und dem Aether von der Art sind, dass die Atome der Schwefelsäure mit denen des Kalks in ein festeres Gleichgewichtsverhältniss treten können, als die der Kohlensäure und des Kalks. Weil man aber diese statischen Gesetze noch nicht genügend kennt, so hat man es vorgezogen, die unbekannte Ursache durch das Wort *Wahlverwandtschaft* zu bezeichnen, und sagt, der Kalk habe zwar Verwandtschaft zur Kohlensäure, er habe aber grössere Neigung oder Verwandtschaft zur Schwefelsäure. Der auf diese Art gebildete schwefelsaure Kalk oder Gyps wird als ein Produkt der *einfachen Wahlverwandtschaft* angesehen. Ein anderes sei, unter den unzählbaren Beispielen, die Verbindung des Quecksilbers mit dem Schwefel zu Zinnober. In der Glühhitze vereinigt sich der Schwefel mit Eisen, während das Quecksilber frei wird. In folgendem Falle aber, welcher ebenfalls nur einer von vielen ist, entsteht eine doppelte Verbindung und Trennung. Eine wässrige Lösung von kohlensaurem Kali mit einer von schwefelsaurem Natron gemischt und nachher abgedampft, gibt bei der Erkaltung zuerst Krystalle von schwefelsaurem Kali und dann von kohlensaurem Natron. Ebenso gibt salpetersaurer Baryt und schwefelsaures Natron, in wässriger Lösung gemischt, salpetersaures Natron, welches gelöst bleibt, und schwefelsauren Baryt, der zu Boden fällt. Diese Produkte nennt man Resultate der *doppelten Wahlverwandtschaft.*

Licht, Wärme und Elektrizität sind ebenfalls oft Ursachen solcher Trennungen und Verbindungen.

Nach dem jetzigen Zustande der Wissenschaft ist die Affinität wahrscheinlich eine Folge davon, dass zwischen den Atomen verschiedener Körper, indem sie sich durcheinander lagern, verschiedene Gleichgewichtsverhältnisse bestehen. So kann die Stabilität der Lagerung der Atome von *A* zwischen denen von *B* grösser sein, als die der Lagerung der Atome von *A* zwischen denen von *C*; dann hat *A* mehr Verwandtschaft zu *B*, als zu *C*.

§. 42.

Die Chemie benutzt diese verschiedenen Verwandtschaftsverhältnisse, um bekannte Stoffe bald mit andern zu verbinden, bald aus unbekannten Verbindungen die bekannten Stoffe auszuscheiden, und also das Unbekannte in seine Bestandtheile zu zerlegen. Diese Bestandtheile sind nähere oder entferntere. So z. B. ist Kupfervitriol zusammengesetzt aus Kupferoxyd und Schwefelsäure. Das Kupferoxyd ist Kupfer und Sauerstoff, die Schwefelsäure besteht aus Schwefel und Sauerstoff.

Vermag man eine Materie nicht in einfachere zu zerlegen, so nennt man sie *einfach* oder ein *chemisches Element*, einen *Grundstoff*. Es ist damit nicht gesagt, dass sie es wirklich ist, und die Fortschritte

der Wissenschaft führen vielleicht einst zur Zerlegung dessen, was wir gegenwärtig für einfach ausgeben, so wie wir jetzt das früher für einfach gehaltene Wasser in seine Bestandtheile, Sauerstoff und Wasserstoff, zerlegen. Auch kann ein und derselbe Körper, wie z. B. Phosphor, Schwefel, Kohlenstoff und Sauerstoff in verschiedenen Zuständen ein physikalisch und chemisch ganz verschiedenes Verhalten zeigen, ohne andere Bestandtheile aufgenommen zu haben, was man einstweilen *Allotropie* nennt. Die Zahl der Grundstoffe beträgt gegenwärtig 64. Die wichtigsten davon sind:

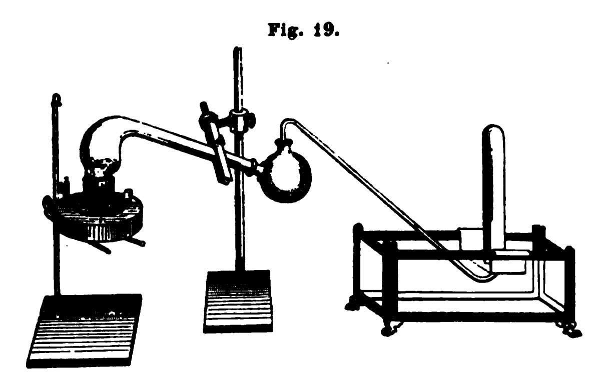
I. Die Metalloïde oder nicht metallischen Stoffe.

§. 43.

1) Der *Sauerstoff* (Oxygen), welchen man frei nur als Gas kennt. Er macht über $^1/_3$ unserer Erde aus und geht die meisten Verbindungen ein. Man erhält ihn als Gas durch Glühen verschiedener Körper, wie z. B. aus Braunstein, chlorsaurem Kali oder rothem Quecksilberoxyd. Das Sauerstoffgas ist durchsichtig, ohne Farbe, ohne Geschmack und Geruch. Er unterhält das Athmen und die Flamme viel besser, als die Luft, so dass kleine Thiere munterer darin werden, und länger als in eben so viel Luft existiren können, daher heisst er auch Lebensluft; Körper, welche sonst nur glühen, brennen lebhaft darin (wie Kohle und Zunder), und andere, welche in der atmosphärischen Luft lebhaft brennen, verbreiten dort ein ausserordentliches Licht, wie z. B. Eisen, Zink, Phosphor u. dgl. Darum heisst er auch Feuerluft. Auch die schöne Röthung des Blutes durch den Sauerstoff gehört hieher. Man braucht das Sauerstoffgas zur Wiederbelebung Erstickter und zum künstlichen Schmelzfeuer. Alle *Oxyde* sind Verbindungen des Sauerstoffs, und das gewöhnliche Verbrennen ist in der Regel eine *Oxydation*. Die Trennung des Sauerstoffs von einem einfachen Körper nennt man *Desoxydation*, auch *Reduction*. Man glaubte sonst, dass ohne Sauerstoff keine Säure möglich sei, und daher erhielt er seinen Namen; es gibt aber viele Säuren, welche keinen Sauerstoff enthalten. Durch den Einfluss der Elektrizität, oder des Lichtes und im status nascendi erlangt der Sauerstoff ohne Aufnahme fremder Körper die Eigenschaft eines viel stärkern Oxydationsvermögens. In diesem (allotropen) Zustand, welchen *Schönbein* zuerst nachgewiesen hat, heisst er ozonisirter Sauerstoff wegen des eigenthümlichen Geruches. Durch Erhitzung verliert er diese Eigenschaft. Der Sauerstoff kann aber auch desoxydirende Eigenschaften annehmen und also in dreierlei Zuständen erscheinen. Die beiden letzten bezeichnet *Schönbein* durch *negativen* und *positiven* Sauerstoff.

Reines Sauerstoffgas stellt man aus rothem Quecksilberoxyd auf folgende Art dar: In der gläsernen Retorte, Fig. 19, deren Hals mittelst Kork in eine Oeffnung der Vorlage genau eingepasst ist, erhitzt man das Quecksilberoxyd durch eine Lampe mit doppeltem Luftzuge. Zuerst steigen aus der Mündung des Glasrohrs, welches ebenfalls luftdicht in die andere Oeffnung der Vorlage eingepasst ist, durch das Wasser in die Wanne, Blasen atmosphärischer Luft auf. Fängt man später Blasen in dem mit Wasser gefüllten, umgekehrten Cylinder auf, so bemerkt man bald, dass, wenn man diesen Cylinder mit dem Daumen verschliesst und umgekehrt und nun in die darin enthaltene Luft ein glühendes Hölzchen bringt, dieses mit heller Flamme brennt. Dies ist ein Zeichen, dass nun die Sauerstoffgas-Entwicklung begonnen hat. Zu gleicher Zeit fängt der Hals der Retorte an, innen mit

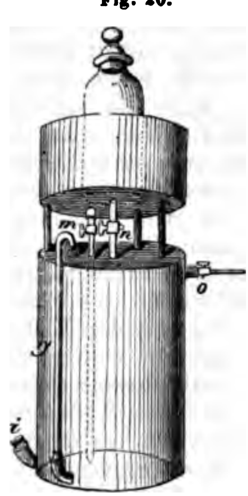
Fig. 19.



kleinen Quecksilberkügelchen sich zu beschlagen, die in die Vorlage herabfliessen. Das Quecksilberoxyd hat nämlich seinen Sauerstoff wieder abgegeben, und der durch die Hitze gebildete Quecksilberdampf hat sich an den kältern Wänden niedergeschlagen. Dies dauert so lange fort, bis alles Quecksilberoxyd in der Retorte verschwunden ist. Aus 109 Gran erhält man 101 Gran Quecksilber und 8 Gran Sauerstoffgas. Vgl. §. 38. Diese Darstellung des Sauerstoffgases gibt schon einen Begriff von manchen andern chemischen Operationen und den dazu nöthigen Apparaten. Sehr bequem ist die Darstellung des Sauerstoffgases aus einem Gemenge von gleichen Gewichtstheilen chlorsaurem Kali und Braunstein oder reinem Quarzsand, die man in einer Retorte erhitzt. Man erhält aus einem Loth chlorsaurem Kali ohngefähr 6 Liter Gas. Man fängt das Gas entweder in Flaschen oder in einem Gasometer auf. Das *Gasometer*, Fig. 20, besteht aus einem Cylinder von Kupfer oder Blech, worauf ein anderer befestigt ist. Zwei mit Hahnen versehene Röhren verbinden den obern Cylinder mit dem untern. Die eine *m* geht nahe bis an den Boden des untern Cylinders, die andere *n* nur bis an die Decke desselben. Unten bei *i* ist eine grössere Oeffnung, die mit einem Kork verschlossen ist. *g* ist eine Röhre von Glas, die den Stand des Wassers im Cylinder angibt. Nachdem das Gasometer mit Wasser gefüllt ist und alle Hahnen geschlossen sind, zieht man den Kork *i* heraus. Das Wasser kann wegen des Luftdrucks nicht entweichen. In die Oeffnung *i* bringt man nun das Ende der Glasröhre, welche an die Vorlage Fig. 19 befestigt ist, und so oft eine Gasblase aufsteigt, fällt eben so viel Wasser heraus. Entwickelt sich kein Gas mehr, so verschliesst man die Oeffnung bei *i* nach Entfernung der Vorlage. Um nun Verbrennungsversuche anzustellen, stellt man eine mit Wasser gefüllte Glasglocke in den obern Cylinder, der auch Wasser enthält, und öffnet den Hahn *m*, damit das Gas durch das hinabfliessende Wasser zusammengedrückt wird. Hierauf lässt man das Gas durch das Oeffnen des Hahns *n* in die Glasglocke steigen. Die Gegenstände, die man verbrennen will, befestigt man an einem durch den Korkstöpsel der Flasche gehenden Draht, oder legt sie in das am Ende desselben befindliche Löffelchen. Phosphor entzündet sich, wenn man einen zweiten warm gemachten Draht durch den Hahn herabdrückt. Befestigt man an der Seitenöffnung *o* mittelst einer Schraube eine Messing- oder Platinaspitze, lässt durch sie das Sauerstoffgas ausströmen und stellt man eine brennende Weingeistlampe davor, so kann man in dem entstehenden Flammenkegel Platina schmelzen und andere Verbrennungsversuche anstellen.



Fig. 20.



§. 44.

2) Der *Wasserstoff* (Hydrogen) ist ohngefähr 14½mal leichter als die Luft, ebenfalls farb-, geruch- und geschmacklos und nur in Gasgestalt bekannt. Das Wasserstoffgas taugt nicht zum Athmen, ist aber sehr brennbar. Man gewinnt es, indem man verdünnte Schwefelsäure mit Eisen oder Zink zusammenbringt. Das in der Schwefelsäure ent-

haltene Hydratwasser wird zersetzt; der Sauerstoff desselben verbindet sich mit dem Metall und der Wasserstoff wird frei.

Dieses Gas macht, mit atmosphärischer Luft gemengt und eingeathmet, schläfrig. Im reinen Wasserstoffgas sterben Thiere, nicht weil es giftig ist, sondern weil der Sauerstoff fehlt. Indem es viel leichter als die atmosphärische Luft ist, steigen Seifenblasen, welche damit gefüllt werden, so wie Luftballons in die Höhe. Wegen seiner grossen Brennbarkeit wird es zu den Zündmaschinen benutzt.

Lavoisier hat zuerst den Wasserstoff durch Zersetzung des Wassers dargestellt, indem er Wasserdämpfe durch glühende, mit Eisentheilchen gefüllte Röhren leitete, wobei sich der Sauerstoff mit dem Eisen verbindet und der Wasserstoff als Gas frei wird. Die Gewichtszunahme des Eisens nebst dem Gewichte des Wasserstoffs betragen zusammen so viel, als das Gewicht des Wasserdampfes. Zwei Maass Wasserstoffgas mit einem Maass Sauerstoffgas geben das *Knallgas,* welches bei seiner Entzündung Wasserdämpfe bildet und die stärksten Gefässe zersprengen kann. Mit dieser Verbrennung ist die höchste Hitze verbunden, die man durch Verbrennung hervorzubringen vermag.

Zur Darstellung des Wasserstoffgases wendet man eine Flasche, Fig. 21, mit einem Kork an, in welchen zwei Löcher gebohrt sind. Durch das eine geht das trichterförmige Glasrohr, durch das andere das gebogene Glasrohr. In der Flasche befinden sich einige Zinkstückchen. Giesst man durch den Trichter zuerst Wasser und dann nach und nach Schwefelsäure zu, so entwickelt sich das Gas und kann in das Gasometer geleitet oder mittelst einer andern ausgezogenen Glasröhre, wie in Fig. 22, in die Luft überströmen und angezündet werden. Die atmosphärische Luft in der Flasche muss jedoch vorher dadurch entfernt werden, dass man das Gas vor dem Anzünden eine Zeitlang ausströmen lässt. Man kann die Flamme auch dem aus dem Gasometer kommenden Sauerstoffstrome gegenüberstellen und dadurch ihre Intensität verstärken. Um einen Ballon von Goldschlägerhäutchen mit diesem Gase zu füllen, befestigt man den leeren Ballon an die Mündung *o* Fig. 20 des mit Wasserstoffgas gefüllten Gasometers und öffnet diesen Hahn und den Hahn *m*. Zu manchen Zwecken ist der Apparat Fig. 23 und 24 bequem. Die Glasglocke dient z. B. zum Mischen von verschiedenen Gasen und ist mit Wasser gefüllt; eben so die Wanne. Bringt man nun 1 Maass Sauerstoffgas und 2 Maass Wasserstoffgas in erstere, schraubt die an einem Hahn Fig. 24 befestigte, luftleere Rindsblase an den Hahn der Glasglocke und öffnet man beide Hahnen, indem man die Glocke in's Wasser hinabdrückt, so füllt sich die Blase mit Knallgas. Ein Röhrchen, welches an den Hahn der Blase geschraubt werden kann, dient alsdann, um Seifenblasen zu erzeugen, indem der Hahn geöffnet, das Mundstück in Seifenbrühe getaucht und die Blase sanft gedrückt wird. Um chemisch reines Wasserstoffgas darzustellen, nimmt man reinen Zink und verdünnte Salzsäure statt der Schwefelsäure. Das in der grössern Flasche, Fig. 25, entwickelte Gas leitet man erst in die kleinere Flasche durch eine Auflösung von Kali in Wasser, ehe man es durch die gebogene Röhre in das zu seiner Aufnahme bestimmte Gefäss gelangen lässt.

Fig. 21. Fig. 22.

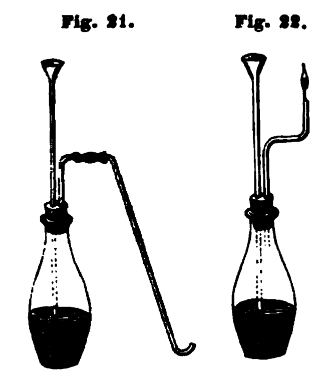
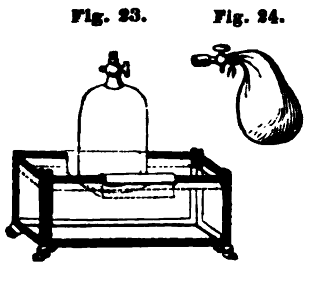
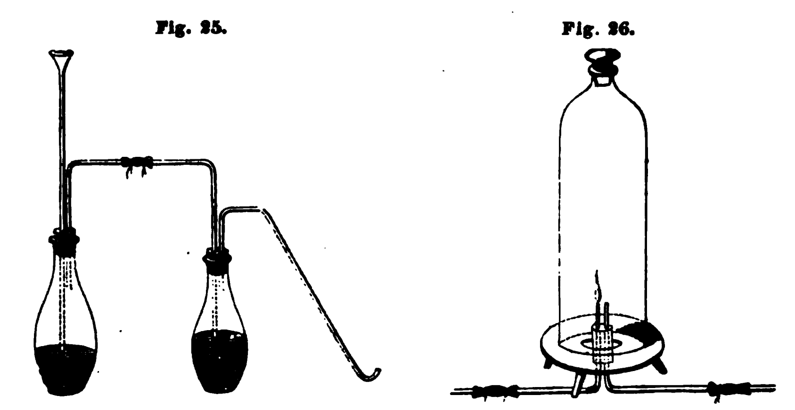


Fig. 23. Fig. 24.



Zur künstlichen Bereitung des Wassers wendet man eine Glasröhre, Fig. 26, an, durch deren hölzernes Stativ zwei Glasröhren gehen, die unterhalb desselben


Fig. 25. Fig. 26.

rechtwinklicht gebogen sind und sich in Spitzen endigen. Aus der einen strö Wasserstoffgas, welches aus einer communicirenden Flasche entwickelt wird; a der andern Sauerstoffgas, welches aus dem Gasometer kommt. Die Flamme wi um so kleiner, je richtiger man das Verhältniss zwischen dem zuströmenden Sau stoff und Wasserstoff (1 Maass auf 2 Maass) trifft. Die Wände der Glocke besch gen sich bald mit Wasser, welches an ihnen herabrinnt und sich vollkommen v destillirtes Wasser verhält.

§. 45.

Durch das allmälige Verbrennen von 1 Maass Sauerstoff mit Maass Wasserstoff bildet sich *Wasser.* Das so erhaltene Wasser, wie das destillirte, ist chemisch rein, geschmack- und geruchlos, und h nur in grössern Massen eine bläuliche Farbe. Es ist ein Auflösung mittel für eine Menge von Gasen, und manche Luftarten werden v demselben in grösserer oder geringerer Menge gebunden. Dadurch e hält es verschiedene Eigenschaften, nach denen man es hartes, seife artiges oder Mineralwasser nennt. Wenn seine Gemengtheile von org nischen Stoffen herrühren, so bekommt es einen üblen Geschmack u Geruch, wird aber mit der Zeit wieder rein, weil diese Stoffe durch d Fäulniss zerstört werden. Man reinigt es auch, indem man es dur Gefässe filtrirt, in welchen Kohle und Sand abwechselnd geschichtet sin und schützt es lange vor dem Verderben durch eine kleine Menge Ka oder salpetersaures Silberoxyd oder durch Kohle.

Das Wasser lässt sich nur wenig zusammendrücken, und zwar bei Drucke *einer* Atmosphäre um 0,000048 seines Raumes, bei *zweien* u das Doppelte u. s. w.; auf der Tiefe des Meerbodens ist es daru dichter.

Wird das Wasser erkältet, so verdichtet es sich bis zu 4° Cen dann dehnt es sich aus bis 0°, und im Augenblick des Gefrierens nimı es ohngefähr um $^1/_{10}$ an Rauminhalt zu; dabei dehnt es sich mit gross Gewalt aus, so dass es sehr starke Gefässe zersprengen kann. Unt höherem Druck gefriert das Wasser erst bei Temperaturen, die nieder sind als 0°. Das Wasser geht mit vielen Körpern Verbindungen ei welche *Hydrate* genannt werden.

§. 46.

3) Der *Stickstoff* (Azot, Nitrogenium) erscheint rein, ebenfalls n

als Gas, und macht fast $^4/_5$ unserer Atmosphäre aus; er ist auch ein Hauptbestandtheil der Pflanzen und Thierkörper. Der Stickstoff ist der brennbare Bestandtheil der Salpetersäure, die aus ihm und dem Sauerstoff gebildet werden kann, indem man starke elektrische Funken durch ein Gemenge von beiden schlagen lässt. Er hat seinen Namen daher, dass Thiere, welche dieses Gas rein einathmen, ersticken, und Lichter erlöschen. Dies ist jedoch nur eine Folge des Mangels an Sauerstoff und nicht einer tödtlichen Eigenschaft des Stickstoffs. Um ihn aus der atmosphärischen Luft zu erhalten, muss man derselben den Sauerstoff entziehen. Dieses geschieht dadurch, dass man Luft durch ein mit Kupferspähnen angefülltes, bis zum Glühen erhitztes Glasrohr leitet. Das Kupfer nimmt dann aus der Luft den Sauerstoff auf, indem es sich mit einer schwarzen Rinde überzieht; das Stickgas aber tritt an dem andern Ende der Röhre aus und kann dort über Wasser aufgefangen werden. Unreiner erhält man es durch Verbrennen von Weingeist oder Phosphor unter einer Glasglocke, welche durch Wasser gesperrt ist und atmosphärische Luft enthält, indem dabei der Sauerstoff verzehrt wird. Dieses Gas ist wenig leichter als die atmosphärische Luft, während der Sauerstoff etwas schwerer ist.

§. 47.

Die *atmosphärische Luft* besteht aus 79 Raumtheilen Stickstoff und 21 Theilen Sauerstoff, und kann durch Mengung beider Gase in diesem Verhältniss zusammengesetzt werden. Sie ist keine chemische Verbindung dieser Gase, und doch in jeder Höhe und Tiefe der Erde gleichartig zusammengesetzt. Ausserdem enthält sie Wasserdampf und Kohlensäure bis zu 0,07 Raumtheilen in veränderlicher Menge; auch eine geringe Menge Ozon, Ammoniumoxyd und einige andere Gase in sehr kleinen und veränderlichen Quantitäten. Beim Athmen wird von Menschen und Thieren der Sauerstoff der Luft allmälig verzehrt, indem er zur Oxydation des Blutes verwendet wird, und diesem die schöne rothe Farbe gibt. Das Blut setzt bei der Circulation im Körper diesen Sauerstoff wieder ab und kommt als sauerstoffärmere Flüssigkeit in den Lungen wieder mit ihm in Berührung. Die ausgeathmete Luft enthält weniger Sauerstoff als früher, und ausser dem Stickstoff noch Wasserdämpfe und etwas Kohlensäure; daher wirkt die in einem eingeschlossenen Raume durch's Athmen verdorbene Luft erstickend. Um den Gehalt der Luft an Sauerstoff zu finden, hat man verschiedene Instrumente, welche *Eudiometer* heissen. Sie beruhen zum Theil darauf, dass man in einem genau gemessenen Raume atmosphärischer Luft den Sauerstoff mit irgend einem Körper, der grosse Verwandtschaft zu ihm besitzt, verbindet, und aus der Raumabnahme auf den Sauerstoffgehalt schliesst.

Fig. 27.

Das Wasserstoff-Eudiometer besteht im Wesentlichen aus einem starken, wohlgekühlten Glasrohre, Fig. 27, welches graduirt ist und oben eine metallene Fassung hat, durch welche zwei Platindrähte luftdicht eingesetzt sind, die einander nahe gegenüber stehen. Man füllt diese Röhre mit ausgekochtem Wasser und setzt sie auf die Brücke einer pneumatischen Wanne. Nun lässt man eine abgemessene Menge Luft hineinsteigen, z. B. 100 Raumtheile und halb so viel oder 50 Theile reines Wasserstoffgas. Darauf leitet man durch die Drähte einen elektrischen Funken, welcher eine Verpuffung bewirkt. Das erzeugte

Wasser wird von dem Sperrwasser aufgenommen. Nachdem der Apparat sich abgekühlt hat, beobachtet man, wie viel die zurückgebliebene Luftmenge noch beträgt. Macht diese z. B. 87 Raumtheile aus und waren es x Theile Sauerstoff, welche sich also mit $2\,x$ Theilen Wasserstoff verbunden haben, so muss $x + 2x + 87 = 150$, daher $x = 21$ Theile Sauerstoff sein. Der Stickstoff beträgt dann 79 Theile. Statt der beiden Platindrähte kann man auch nur einen einzigen, sehr feinen Platindraht quer durch die Eudiometerröhre gehen lassen und diesen durch ein einfaches Element einer *Grove*'schen oder *Bunsen*'schen Kette glühend machen. Das Phosphor-Eudiometer besteht in einem Probeglase, welches mit Luft gefüllt und mit Wasser gesperrt ist. Den in der Umbiegung des Glases liegenden Phosphor entzündet man durch Erhitzen mit einer Weingeistlampe. Hierbei ist nöthig, das Gefäss zu schütteln.

Genauer bestimmt man die Gemengtheile der Luft, indem man eine abgewogene Menge derselben 1) durch eine gewogene Glasröhre leitet, welche Bimsstein enthält, der mit Schwefelsäure befeuchtet ist, 2) durch eine Röhre, die mit Kalkhydrat gefüllt ist, und endlich 3) durch eine Röhre, welche Phosphor und dann eine Schichte Baumwolle enthält. Die Gewichtszunahme der ersten Röhre gibt den Gehalt der Luft an Wasser, die der zweiten an Kohlensäure und die der dritten an Sauerstoff an.

Durch das Eudiometer hat man gefunden, dass das Verhältniss des Sauerstoffs zum Stickstoff der Luft auf allen Punkten der Erdoberfläche und in allen Höhen, zu allen Jahreszeiten, und selbst in mit Menschen gefüllten Theatern, das nämliche ist. Wohl aber sind der Luft schädliche Substanzen beigemengt, die sich beim Athmen und Ausdünsten entwickeln. Das *Miasma,* welches auch im Freien gefährliche Krankheiten erzeugt, soll, nach *Boussingault,* aus organischen Stoffen bestehen. sich unter Mitwirkung von Feuchtigkeit und Wärme aus der Zersetzung von Thier- und Pflanzenstoffen bilden, und daher besonders häufig in solchen Ländern sein, die neben einer hohen Temperatur einen feuchten Boden besitzen, oder wo grosse Strecken urbar gemacht werden, und das Meerwasser sich mit stehenden süssen Gewässern mischt.

§. 48.

4) Das *Chlor* findet sich in der Natur nur in Verbindung mit Metallen, vorzüglich als Chlornatrium oder Kochsalz. Man verschafft es sich, indem man Braunstein mit sechsmal so viel Salzsäure in einem Glaskolben, der in einem Schälchen mit Sand ruht, über einer Spirituslampe erhitzt und das Gas über erwärmtem Wasser auffängt.

Das Chlor ist ein grünlich gelbes Gas, 2½mal so schwer als die Luft, wirkt beim Einathmen erstickend und erregt in geringer Menge Schnupfen und Husten. Organische Farben werden dadurch im feuchten Zustand zerstört, und es dient daher zum Schnellbleichen. Es ist nicht brennbar, aber ein Wachslicht brennt darin fort, und Phosphor, Antimon und mehrere andere Körper entzünden sich von selbst darin.

Das Chlor zerstört manche schädliche Dünste, und dient daher zum Räuchern. Es verbindet sich mit halb so viel Wasser und Kalk zu *Chlorkalk,* der viele nützliche Eigenschaften hat; so dient er, in Wasser aufgelöst, durch Bestreichen von Armen und Gesicht, als Schutzmittel gegen das Ersticken in lange verschlossenen Kanälen und Gewölben, wenn auch die ausdünstenden Körper damit besprengt werden; ferner bei Sectionen, um den Leichen den üblen Geruch zu benehmen. Organische Flecken gehen augenblicklich heraus, wenn man den Zeug zuerst in schwache Säure und dann in Chlorkalklösung taucht.

§. 49.

5) Das *Brom* wird im Meerwasser und manchen Mineralquellen gefunden. Es ist bei weniger als 18° Kälte eine hyacinthrothe Flüssigkeit von äusserst durchdringendem Geruche, und hat daher seinen Namen (*βρῶμος*, Gestank).

§. 50.

6) Das *Jod* findet sich in Wasser- und Landpflanzen, vorzugsweise aber angehäuft in einigen Meerespflanzen; ausserdem auch in mehreren Quellen und Mineralien. Es ist eine krystallinische, dunkelgraue Substanz, welche unangenehm riecht, stark auf die Organe wirkt, und sich in der Wärme in ein schönes violettes Gas verwandelt. Daher sein Name (von *ἰώδης*, veilchenblau). Löst sich im Weingeist auf.

§. 51.

7) Der *Schwefel* kommt in der Natur, besonders in der Nähe von Vulkanen gediegen vor, sodann in Verbindung mit Metallen, in Kiesen, Blenden und Glanzen, z. B. im Schwefelkies mit Eisen, Zinkblende und Bleiglanz oder als schwefelsaures Salz z. B. im Gypse. Im elementaren Zustand erscheint er entweder krystallisirt oder amorph. Auch der krystallisirte zeigt zweierlei Formen. Entweder sind die Krystalle octaëdrisch (Schmelzpunkt 120°) oder rhombisch (Schmelzpunkt 114,5°), doch verwandeln sich erstere leicht in letztere unter Wärmeentwicklung. Vom amorphen Schwefel (Schmelzpunkt 120°) unterscheidet man mit *Magnus* drei Formen, den gelben, rothen und schwarzen. Der krystallinische Schwefel ist im Schwefelkohlenstoff und andern Stoffen löslich, der amorphe nicht. Der krystallisirte Schwefel verhält sich electronegativ, der amorphe positiv. Ersterer findet sich nach *Berthelot* in den Schwefellebern, letzterer in den Chlorverbindungen u. s. w. Uebrigens werden die Eigenschaften der einzelnen allotropen Zustände des Schwefels durch die Gegenwart anderer manchfach modificirt. Der Schwefel schmilzt zu einer hellgelben Flüssigkeit, welche bei Zunahme der Temperatur dunkler und dickflüssiger wird; bei 250° wird er zähe und braun, über diesen Punkt hinaus wieder flüssiger, und siedet bei 440° unter Entwicklung eines braunrothen Gases, in welchem viele Metalle unter Lichtentwicklung verbrennen.

8) Das *Selen* findet sich sparsam in der Natur an verschiedene Metalle gebunden, ist bleigrau, nicht hart, scheint wenig krystallisirbar und schmilzt bei etwas mehr als 100°. In seinen chemischen Eigenschaften ist es dem Schwefel ganz nahestehend.

§. 52.

9) Der *Phosphor* wird aus den Knochen und andern thierischen Stoffen gewonnen. Er kommt in zwei allotropen Zuständen vor, als gewöhnlicher weisser, durchscheinender Phosphor, der in Octaëdern krystallisirt, und als rother, der bei gewöhnlicher Temperatur nicht raucht. Der erstere entzündet sich schon bei 35° *C*. und ist sehr giftig. Er leuchtet im Dunkeln und löst sich in ätherischen Oelen zu einer leuchtenden Pommade auf. Unter seinen Verbindungen ist das Phosphorwasserstoffgas eine der interessantesten, weil es sich an der Luft von selbst entzündet (Irrlichter). Der amorphe Phosphor ist weniger giftig und nicht brennbar. Er bildet sich bei 250° und verwandelt sich einige Grade höher wieder in den gewöhnlichen.

Die Zündhölzchen sind Schwefelhölzchen, die in einen Teig von Phosphor, Gummi und feinen Sand getaucht wurden und wie Phosphor selbst sich beim Reiben an einem rauhen Körper entzünden.

§. 53.

10) Das *Fluor* findet sich nie rein und kommt am häufigsten in Verbindung mit Metallen vor. So ist der Flussspath eine Verbindung von Fluor und Calcium. Das Fluor ist schwer rein darzustellen, weil es das Material aller Gefässe zerstört, ausser dem Flussspath selbst. Es ist ein farbloses, riechendes Gas, welches sehr schnell mit dem Wasserstoff des Wassers sich verbindet und alsdann Dämpfe von Fluorwasserstoffsäure bildet, die rein eingeathmet tödtlich sind und zum Aetzen des Glases angewandt werden.

§. 54.

11) Das *Bor* ist ein seltener einfacher Stoff, in einem Salze, welches Borax (borsaures Natron) heisst. Es erscheint in mehreren allotropen Modificationen, wovon die krystallisirte an Härte dem Diamant nahe kommt. Der Borax oder die Borsäure wird häufig zum Löthen angewendet.

§. 55.

12) Das *Silicium* oder der Kiesel ist der Grundstoff der Kieselsäure, welche als Quarz, Bergkrystall, in den Silicaten, in den Thonarten, Pflanzen, besonders Gräsern, vielen Infusorien und dadurch in dem Polirschiefer vorkommt. Es besitzt, wie der Kohlenstoff, drei allotrope Zustände, und kommt entweder krystallisirt oder diamantartig, oder graphitartig oder amorph vor.

Das *Glas* wird durch Zusammenschmelzen von Quarz mit Pottasche oder Soda und Kalk bereitet, und besteht alsdann aus kieselsaurem Kali oder Natron und kieselsaurem Kalk. Das *Flintglas* enthält ausserdem Bleioxyd, aber keinen Kalk, und unterscheidet sich dadurch von dem Crownglas.

§. 56.

13) Der *Kohlenstoff* (Carbon) kommt in drei allotropen Formen vor, und zwar 1) als Diamant, durchsichtig, krystallisirt, von grosser Härte und starkem Lichtbrechungsvermögen; 2) als Graphit, der grauschwarz, krystallisirt, weich und abfärbend ist; und 3) als gewöhnliche Kohle, die meist noch Wasserstoff und Salze enthält. Der Kohlenstoff ist unschmelzbar und lässt sich nicht verflüchtigen. Alle organischen Wesen enthalten als wesentlichen Bestandtheil den Kohlenstoff, welcher bald mit Wasserstoff allein, bald mit diesem und dem Sauerstoff und Stickstoff eine Menge organischer Verbindungen bildet, von denen einige gasförmig, andere flüssig, die meisten aber fest sind.

Von den Verbindungen des Kohlenstoffs sind folgende hier der Erwähnung werth:

a) Das *kohlensaure Gas*, 1 M.-G. Kohle und 2 M.-G. Sauerstoff, welches $1^1/_2$mal so schwer ist, als die Luft, und daher aus einem Gefässe in ein anderes übergegossen werden kann. Es entwickelt sich bei allen gährenden Körpern, und aus manchen Höhlen, z. B. in der Höhle bei Posilippo u. a. m. Dieses Gas wirkt erstickend und verbindet sich, bei gewöhnlichem Luftdruck, mit dem Wasser, 1 Ms. auf 1 Ms., wodurch dieses eine schwache Säure wird. Bei höherem Luftdruck verbindet sich mehr Gas mit dem Wasser. Das Wasser erhält durch die Kohlensäure das Vermögen, Metalle und Erdarten aufzulösen, welche beim Entweichen der Kohlensäure wieder niederfallen. Daher die Trübung der Gläser, aus welchen man Mineralwasser trinkt. Auch das Gas, welches sich aus dem Champagner entwickelt, ist kohlensaures Gas.

b) Das *ölbildende* Gas oder schwere Kohlenwasserstoffgas besteht aus 1 M.-G. Wasserstoff und 1 M.-G. Kohlenstoff, und man erhält es durch Erhitzung von 1 Theil Weingeist und 4 Theilen Schwefelsäure. Das Gas, welches zur Gasbeleuchtung dient, ist ein Gemenge aus diesem und dem nachfolgenden Gase und wird durch Glühen von Steinkohlen, Oel u. dgl. gewonnen und von dem beigemischten kohlensauren Gase befreit, indem man es durch Kalkmilch leitet. Die meisten brennenden Körper, als Holz, Talg, Wachs, Weingeist u. s. w., sind brennender Kohlenstoff und Wasserstoff.

c) Das *Grubengas* oder leichte Kohlenwasserstoffgas (1 M.-G. Kohlenstoff auf 2 M.-G. Wasserstoff) entwickelt sich aus faulenden Körpern und in den Bergwerken. Mit der Luft gemischt bildet es Knallgas, durch dessen Entzündung oft heftige Explosionen in den Bergwerken erfolgen; daher wird es schlagendes Wetter genannt.

II. Die Metalle

§. 57.

sind schmelzbare, brennbare und undurchsichtige Körper von eigenthümlichem Glanze, wenn sie polirt werden.

Die Schmelzbarkeit derselben ist sehr verschieden. Das Quecksilber schmilzt schon bei — 39° C., während die Platina die höchste Hitze erfordert, welche wir hervorbringen können. Manche Metalle werden vor dem Schmelzen so weich, dass sie zusammengeschweisst werden können, z. B. Eisen und Platina. Die meisten nehmen beim Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand eine Krystallform an. Z. B. Wismuth. Bei höherer Hitze verdunsten die meisten; Gold und Platina nur im Brennpunkte grosser Hohlspiegel.

Die Undurchsichtigkeit der Metalle dauert selbst im geschmolzenen Zustande fort. Das Gold ist in sehr dünnen Blättchen durchscheinend, indem es das Licht grün durchschimmern lässt, was man sonst seiner Porosität zuschrieb.

Den Metallglanz zeigt Platina am vorzüglichsten, dann Stahl, Silber, Quecksilber, Gold etc. Er ist eine Folge der Undurchsichtigkeit; weil wenig Licht eindringen kann, wird vieles zurückgeworfen. Selbst die weichsten Metalle, z. B. Kalium, zeigen diesen Glanz.

Grössere Dichtigkeit ist keine allgemeine Eigenschaft der Metalle, indem z. B. Kalium leichter als Wasser ist. Das dichteste ist das Iridium, ein äusserst seltenes Metall, und ohngefähr 23mal dichter als Wasser; die Platina ist nur 21mal dichter.

Die Metalle pflanzen die Wärme und die Elektrizität sehr leicht fort und heissen daher gute Leiter derselben. Die besten Wärmeleiter sind Gold und Silber, die besten Elektrizitätsleiter sind Silber und Kupfer.

Die Eintheilung der Metalle in geschmeidige und spröde, hat ihren Grund in der grössern Dehnbarkeit mancher von ihnen. Die geschmeidigsten sind auch zugleich die zähesten, wie Eisen, Kupfer, Platina, Silber, Gold, Zinn, Zink, Blei.

Die meisten Metalle sind gewissermassen weich, doch haben einige eine ausserordentliche Härte, wie das Iridium, das kohlenhaltige Eisen oder der Stahl.

§. 58.

Den äussern Eigenschaften der Metalle stehen die chemischen gegenüber. Diese sind:

a) Alle Metalle verbinden sich mit Sauerstoff, einige sogleich, sogar in strenger Kälte, wie z. B. Kalium und Mangan, andere bei mehr Wärme, wie Blei, dessen Oberfläche immer wieder trübe wird, wenn man sie erneuert; andere verbrennen bei höherer Hitze, wie z. B. Zink, Eisen; noch andere nur in der höchsten, wie das Gold. Mehrere überziehen sich nur auf der Oberfläche mit Oxyd, und werden dadurch im Innern geschützt, wie Blei und Kupfer. *Edle Metalle* nennt man diejenigen, aus welchen beim Glühen der Sauerstoff wieder entweicht, wie beim Golde, Silber, Platin und Iridium. Die andern heissen *unedle* Metalle. Wenn man ein Metall seines Sauerstoffs beraubt und wieder rein herstellt, so *reducirt* man es. Die Reduction der unedlen Metalle kann nur durch Zusatz eines Körpers geschehen, welcher grössere Verwandtschaft zum Sauerstoffe besitzt. In den meisten Fällen wendet man dazu in der Glühhitze die Kohle an; aber auch Wasserstoff und selbst andere Metalle lassen sich dazu gebrauchen.

§. 59.

b) Die Metalle verbinden sich mit den Metalloïden, besonders leicht mit dem Schwefel; man hat daher Schwefelmetalle oder Schwefelbasen und Sulfide; Verbindungen, welche sich auf eine ähnliche Weise unterscheiden, wie Sauerstoffbasen und Sauerstoffsäuren.

Um zu zeigen, dass sich z. B. Eisen fast mit derselben Lebhaftigkeit mit dem Schwefelgase verbindet, als mit dem Sauerstoffe, macht man nach *Hare* einen Flintenlauf glühend und wirft Schwefel hinein. Nachdem er verstopft ist, strömt das Schwefelgas zum Zündloche heraus und verbrennt Eisendraht unter vielem Funkensprühen. Auch mit Phosphor, Kohlenstoff und Wasserstoff, zum Theil auch mit Stickstoff gehen die Metalle häufige Verbindungen ein.

§. 60.

c) Die Metalle verbinden sich unter einander nach zweierlei Art: Entweder nach bestimmten Verhältnissen, oder durch blosses Zusammenschmelzen. Zur Erläuterung einer Verbindung der ersten Art kann man ein glühendes dünnes Platinblech in geschmolzenes Zinn tauchen und nachher in eine Lichtflamme halten, worauf es unter lebhafter Lichtentwicklung schmilzt. Verbindungen der letzten Art heissen *Legirungen.* Die Metallmischungen sind gewöhnlich zäher, als die Bestandtheile, und auch beinahe ohne Ausnahme leichtflüssiger; daher werden sie zum Löthen gebraucht. Manche Legirungen sind sogar so leichtflüssig, dass sie unter dem Siedpunkte des Wassers schmelzen, z. B. das *Rose*'sche Metallgemisch, welches aus 2 Wismuth, 1 Blei und 1 Zinn besteht. Die Legirungen oxydiren sich leichter, als die reinen Metalle, daher z. B. eine Mischung aus Zinn und Blei fortbrennt, wenn sie bis zum Glühen erhitzt wird. Macht das Quecksilber einen Bestandtheil der Legirung aus, so heisst sie ein *Amalgam.*

§. 61.

d) Die Metalle kommen in der Natur selten gediegen vor, sondern meist in Verbindung mit Sauerstoff, Schwefel und Arsenik. In dieser Verbindung heissen sie *Erze.* Sie liegen entweder in Gängen meist älterer

Gebirge, oder in eigenen Lagern, zuweilen aber auch im Sande der Flüsse oder im Boden der Seen. Aus den Erzen werden sie durch verschiedene chemische Prozesse rein erhalten.

Der gegenwärtige Stand der Wissenschaft gestattet noch nicht die bestimmte Beantwortung der seit den ersten Versuchen, Gold zu machen so oft wiederholten Frage, ob die Metalle einfach sind oder nicht. Von dem Ammonium, welches man sonst seines chemischen Verhaltens wegen zu den Metallen rechnete, ist bekannt, dass es eine Zusammensetzung aus Stickstoff und Wasserstoff ist.

§. 62.

Eine weitere Darstellung der verschiedenen Eigenschaften der Metalle und ihrer Verbindungen gehört nicht hierher. Die Namen derselben mögen hier noch eine Stelle finden. Sie zerfallen in drei Hauptabtheilungen:

1) Leichte Metalle:
   a. Metalle der Alkalien: Kalium, Natrium, Lithium, Caesium, Rubidium.
   b. Metalle der alkalischen Erden: Baryum, Strontium, Calcium, Magnium.
   c. Metalle der eigentlichen Erden: Alumium, Beryllium, Zirconium, Yttrium, Cerium, Erbium, Terbium, Thorium, Norium, Lanthanium, Didymium.
2) Schwere Metalle:
   a. Unedle Metalle, und zwar schwer schmelzbare: Mangan, Eisen, Nickel, Kobalt, Uran, Kupfer; leicht schmelzbare: Zink, Cadmium, Blei, Wismuth.
   b. Edle Metalle: Quecksilber, Silber, Palladium, Platin, Iridium, Ruthenium, Rhodium, Osmium, Gold.
3) Metalle, die vorzugsweise Säuren bilden oder elektronegative Metalle: Zinn, Antimon, Arsen, Tellur, Titan, Niobium, Tantal, Wolfram, Molybdän, Vanadin, Chrom.

Die Metalle der ersten Abtheilung heissen *leichte* Metalle, weil sie zum Theil wenig schwerer als Wasser sind; die der zweiten und dritten Abtheilung werden auch unter dem gemeinschaftlichen Namen der *schweren* begriffen.

§. 63.

Aus den einfachen Körpern entstehen die zusammengesetzten. Die Wissenschaft lehrt wohl, wie man die einfachen Körper durch Zerlegung aus den zusammengesetzten erhalten kann; aber sie ist darum noch nicht im Stande, alle in der Natur vorkommenden zusammengesetzten Körper aus ihren Elementen zu bilden. Dies ist besonders bei den organischen Verbindungen der Fall.

Die wichtigsten Verbindungen sind: *Säuren*, *Basen*, *Salze* und *indifferente Stoffe.*

§. 64.

Die *Säuren* charakterisiren sich im Allgemeinen durch folgende Eigenschaften: 1) Sie sind meistens in Wasser löslich und färben alsdann blaue Pflanzenfarben, z. B. Lackmustinktur, roth. 2) Die sich auflösenden Säuren schmecken sauer. 3) Sie bilden mit Basen entweder Salze oder salzähnliche Verbindungen. Nach dem Elemente, welches der Verbindung den Charakter einer Säure ertheilt, unterscheidet man zwei Reihen: a. Sauerstoff-, Sulpho-, Seleno- und Telluro-Säuren; b. Wasserstoffsäuren, indem sich der Wasserstoff mit Chlor, Jod, Brom und Fluor verbindet.

Die Sauerstoffsäuren lassen sich als Verbindungen der Säure-Atome

mit Wasser oder als Verbindung einer höhern Oxydations-Stufe mit Wasserstoff ansehen. So ist z. B. wasserfreie Schwefelsäure SO^3 und concentrirte Schwefelsäure $SO^3 + HO$; statt des letztern Ausdrucks kann man auch setzen $SO^4 + H$. Dafür spricht der Umstand, dass SO^3 erst den Charakter einer Säure annimmt, wenn es sich mit Wasser verbindet. Folgende Säuren sind in der Physik von Wichtigkeit:

1) Die *Salpetersäure*, welche aus 1 Mischungsgewicht Stickstoff auf 5 M.-G. Sauerstoff und 1, 2, 3, 4, 5 M.-G. Wasser besteht. Sie ist farblos, schwach-rauchend, von eigenem Geruche. Sie oxydirt die meisten Metalle, zersetzt viele organische Stoffe und färbt dabei manche gelb, z. B. Wolle, Indigo, die menschliche Haut. Dabei gibt sie einen Theil ihres Sauerstoffs ab und entweicht als Stickoxydgas, welches, an der Luft mit dem Sauerstoff sich verbindend, rothe Dämpfe von Untersalpetersäure bildet. Dadurch ist die Salpetersäure leicht von andern Säuren zu unterscheiden. Das Scheidewasser ist mit Wasser verdünnte Salpetersäure. Alle Salpetersäure ist mit Wasser verbunden, also ein Hydrat. Reine, ganz wasserfreie Salpetersäure ist noch nicht bekannt. Durch Mischung gleicher Gewichtsmengen concentrirter Salpeter- und Schwefelsäure und ein minutenlanges Eintauchen von Baumwolle erhält man ein Produkt, welches sofort in viel Wasser ausgewaschen und getrocknet, die *Schiessbaumwolle*, in Aether aufgelöst, das *Collodium* gibt.

2) Die *Untersalpetersäure*, 1 M.-G. Stickstoff und 4 Sauerstoff, ist das gelbrothe Gas, welches entsteht, wenn das obige Salpetersäurehydrat einer schwachen Glühhitze ausgesetzt wird, wobei es 1 M.-G. Sauerstoff abgibt. Die rauchende Salpetersäure ist Salpetersäure mit Untersalpetersäure beladen. Ausser diesen gibt es noch drei Verbindungen des Stickstoffs mit dem Sauerstoff, 1 Stickstoff mit 1 Sauerstoff oder Stickoxydulgas, 1 Stickstoff mit 2 Sauerstoff oder Stickoxydgas und 1 Stickstoff mit 3 Sauerstoff oder salpetrige Säure.

3) Die *Salzsäure* oder *Chlorwasserstoffsäure* besteht aus 1 Wasserstoff auf 1 Chlor. Mischt man im Dunkeln gleiche Volumen Chlorgas und Wasserstoffgas in einer weissen Flasche und setzt sie nachher dem Sonnenlicht aus, so erfolgt eine Verbindung beider Gase mit heftiger Verpuffung. Was man im gewöhnlichen Leben Salzsäure nennt, ist die Auflösung der Chlorwasserstoffsäure in Wasser. Sie ist farblos, raucht an der Luft, und wird durch organischen Staub leicht gelb. Auf der Haut erregt sie eine stechende Empfindung. 2 Theile mit 1 Theil Salpetersäure gibt das Königswasser, worin sich Gold und Platina und andere Metalle auflösen, indem sie sich mit Chlor verbinden und Wasserstoff frei machen.

4) *Schweflige Säure* wird das beim Verbrennen des Schwefels sich erzeugende, erstickende Gas genannt. Es enthält 1 M.-G. Schwefel und 2 M.-G. Sauerstoff. Dieses Gas ist farblos, bleicht organischen Faserstoff und wird vom Wasser absorbirt.

5) *Schwefelsäure*. 1 M.-G. Schwefel und 3 M.-G. Sauerstoff. Man unterscheidet zwei Arten:

a. Die *rauchende* oder *Nordhäuser Schwefelsäure*. Sie ist dunkelbraun, raucht an der Luft, zieht gerne Wasser aus der Luft an und enthält theils wasserfreie, theils concentrirte Schwefelsäure.

b. Die *englische* oder *concentrirte Schwefelsäure* enthält 18 ½ pC.

Wasser. Sie ist farblos oder bräunlich. Beim Vermischen mit Wasser erhitzt sie sich stark; wesshalb man immer die Säure nach und nach zum Wasser giessen muss und nicht umgekehrt.

6) *Schwefelwasserstoff* oder *Hydrothionsäure,* aus 1 Wasserstoff mit 1 Schwefel bestehend, ist ein farbloses, stark nach faulen Eiern riechendes Gas, welches mit blauer Flamme brennt. Da es vom Wasser verschluckt wird, so findet man es auch in den Schwefelquellen. Gegen viele Metalle, aber hauptsächlich gegen ihre Salze verhält sich die Säure sehr charakteristisch, indem sie Schwefelverbindungen mit ihnen bildet, die verschiedene Farben besitzen. So wird die geringste Menge eines Bleisalzes durch den Schwefelwasserstoff angezeigt, indem die Flüssigkeit dunkelbraun wird; weisser Arsenik und Hydrothionsäure geben den gelben Schwefelarsenik u. s. w.

§. 65.

Die *Oxyde* sind solche Verbindungen des Sauerstoffs mit einfachen oder zusammengesetzten Stoffen, welche nicht zu den Säuren gerechnet werden können. Wenn sie auch die Eigenschaften der Basen nicht haben, so enthalten sie entweder zu viel Sauerstoff oder zu wenig. Im ersten Falle heissen sie Hyperoxyde, im letzten Suboxyde. Die nicht metallischen Oxyde sind keine Basen.

Den Oxyden analoge Verbindungen bilden auch Chlor, Jod, Schwefel u. a., welche alsdann *Chloride, Jodide, Sulphuride* etc. heissen. Finden solche Verbindungen in zweierlei Verhältnissen statt, wie z. B. zwischen Eisen und Jod, so heisst die mit der geringeren Menge Jod, *Eisenjodur*, und die mit der grösseren *Eisenjodid.* Ausserdem gibt es noch andere Bezeichnungen, deren weitere Ausführung nicht hierher gehört.

§. 66.

Die *Basen* oder salzfähigen Grundlagen charakterisiren sich durch folgende Eigenschaften: 1) Sie bilden mit Säuren theils unmittelbar Salze, oder sie zersetzen sich und die Säuren und bilden salzähnliche Verbindungen. 2) Sie sind zum Theil im Wasser löslich und färben dann gelbe Pflanzenfarben, z. B. Curcuma, braun, und stellen die blaue Farbe des durch Säuren gerötheten Lackmus wieder her; oder sie sind im Wasser unlöslich. 3) Schmecken die löslichen theils scharf und brennend, theils bitter, scharf und kratzend. Man kann sie ebenfalls eintheilen, in Sauerstoff-, Sulpho-, Seleno- und Telluro-Basen, je nach dem Elemente, welches die Grundlage der Base bildet.

Die im Wasser löslichen Basen heissen *Alkalien.* Man begreift darunter das Kali, Natron, Lithion, Ammoniak, Caesium und Rubidium.

Das *Ammoniak* besteht aus 3 Wasserstoff auf 1 Stickstoff und entwickelt sich bei der Fäulniss thierischer Körper. Wird Salmiak oder Chlorammonium mit Kalk erhitzt, so verbindet sich das Chlor mit dem Kalk und das Ammoniak entweicht als Gas.

Die alkalischen Erden besitzen mit den Alkalien fast einerlei Eigenschaften. Dahin gehören: Baryt, Strontian, Kalk und Bittererde. Die übrigen Basen sind meistens Metalloxyde; doch gibt es auch organische Basen.

Da die Wirkungen der Säuren denen der Alkalien entgegengesetzt sind, so können sich ihre Eigenschaften gegenseitig aufheben, wenn sie

zusammengebracht werden. Dieser Zustand heisst der *Neutralisations-Zustand.* Man erkennt ihn daran, dass die Materie weder sauer noch alkalisch schmeckt und weder Lackmus röthet, noch Curcuma braun färbt. Der Charakter der Basen und Säuren ist übrigens nur relativ, indem *a* gegen *b* sich wie eine Säure, und gegen *c* wie eine Base verhalten kann.

§. 67.

Die *Salze* sind Verbindungen der Säuren mit den Basen. Es verbinden sich nämlich die Sauerstoff-, Sulpho-, Seleno- und Telluro-Säuren mit den gleichnamigen Basen zu Sauerstoff-, Sulpho-, Seleno- und Telluro-Salzen. Die *Haloïdsalze* sind Verbindungen der Wasserstoffsäuren, aus Chlor, Jod, Brom und Fluor mit Metallen.

Indifferente Stoffe sind solche, welche weder zu den Säuren noch zu den Basen und Salzen gerechnet werden können und auch selbst keine solche Verbindungen eingehen. Dahin gehören die im §. 65 erwähnten Hyperoxyde, z. B. Manganhyperoxyd, welches erst durch Abgabe von einem Atom Sauerstoff zu einer Base und durch Aufnahme eines solchen Atoms zu einer Säure wird. Auch das Wasser rechnen Manche zu den indifferenten Stoffen.

III. Abschnitt.

Gleichgewicht und Bewegung der Körper.

A. Der festen Körper.

§. 68.

Jede *Veränderung des Ortes,* welchen ein Körper einnimmt, erfolgt vermöge der Einwirkung einer oder mehrerer Kräfte. Die *Bewegung* selbst, so wie die Ruhe, können übrigens auch nur scheinbar sein. Daher unterscheidet man *relative* und *absolute* Bewegung und Ruhe. Die relative Bewegung erkennt man aus der Veränderung der Stellung eines Körpers gegen andere, die wir für ruhend halten; die absolute Bewegung könnten wir nur wahrnehmen, wenn uns im unendlichen Raume gewisse feste Punkte bekannt wären. Ein Beispiel von absoluter Ruhe und relativer Bewegung hat man, wenn einer auf dem Schiff eben so weit zurückgeht, als dieses vorwärts fährt, im Fall die Erde als unbeweglich gedacht wird; da wir uns aber mit ihr bewegen, so sind wir nie in absoluter Ruhe. Wenn die *Wirkungen mehrerer Kräfte* auf einen Körper sich gegenseitig *aufheben,* so sind sie im *Gleichgewicht.*

Derjenige Theil der angewandten Mathematik, welcher die Gesetze angibt, nach denen das Gleichgewicht unter mehreren Kräften erfolgt, heisst die *Statik,* und der Theil, welcher von den Bewegungsgesetzen der Körper und den Wirkungen der

Kräfte handelt, heisst *Dynamik*. Beide machen eigentlich die *Mechanik* aus; viele Schriftsteller verstehen aber darunter nur den letzten Theil.

§. 69.

Die Bewegung ist entweder *gleichförmig* oder *ungleichförmig*, je nachdem ein Körper in gleichen Zeitabschnitten gleiche oder ungleiche Räume zurücklegt. Das Erstere ist z. B. der Fall, wenn ein Körper mit der erlangten Geschwindigkeit bloss vermöge seiner Trägheit fortgeht und keinen Widerstand zu überwinden hat, das Letztere, wenn er der fortdauernden Einwirkung von Kräften unterworfen ist, oder wenn er auf einen Widerstand trifft, der seine Bewegung verzögert.

Der Raum, welchen ein Körper, dessen Bewegung gleichförmig ist, oder gedacht wird, in einer gewissen Zeit zurücklegt, gibt die Vorstellung von seiner Geschwindigkeit. Für die Einheit der Geschwindigkeit nehmen wir die Bewegung durch 1 Fuss in einer Sekunde an. Wenn wir also sagen: die Geschwindigkeit einer Kanonenkugel ist 1600 Fuss, so heisst dies, die Kugel legt 1600 Fuss in einer Sekunde zurück. Bei einem Körper, dessen Bewegung ungleichförmig ist, versteht man unter der Geschwindigkeit, die er in einem bestimmten Zeitpunkt oder an einem gewissen Ort hat, den Raum, welchen er von diesem Punkt an in der nächsten Sekunde zurücklegen würde, wenn nun seine Bewegung gleichförmig bliebe.

Der Raum, welchen ein Körper mit gleichförmiger Geschwindigkeit in 1 Sekunde zurücklegt, sei c, so legt er in t Sekunden den Raum $s = ct$ zurück. In vielen Fällen ist es zweckmässig, diesen Raum durch ein Rechteck vorzustellen, dessen Grundlinie die Zeit und dessen Höhe die Geschwindigkeit ist, um ihn bequemer mit einem andern Raum vergleichen zu können, dessen Grösse ebenfalls durch eine Fläche dargestellt wird. Das Verhältniss beider Flächen ist alsdann das Verhältniss der zurückgelegten Wege.

Beispiele über die Geschwindigkeit einiger Körper, in Pariser Fussen: Eine Schnecke 0,005. Ein Fussgänger 5,3. Der mässige Wind 10. Schnellsegelnde Schiffe 14. Dampfschiffe 15. Locomotive auf Eisenbahnen 45 — 100. Englische Rennpferde 40—70. Der Sturm 50. Ein Adler 95. Eine Brieftaube 110. Ein Orkan 150. Der Schall bei 0° C. 1022,5. Ein Punkt am Aequator um die Erdachse 1431,5. Eine Büchsenkugel höchstens 1500. Eine 24pfündige Kanonenkugel höchstens 2300. Der Mittelpunkt der Erde 94825. Das Licht 41200 geogr. Meilen. Die Elektrizität im Kupferdraht zwischen 30000 und 60000 Meilen.

§. 70.

Um ein Maass für die bewegenden Kräfte zu haben, kann man zur *Einheit* die Kraft nehmen, welche dem *Druck von* 1 *Pfund*, oder der leichtern Vergleichung wegen, von 1 *Kilogramm* gleich ist. Dieser Druck ist nach dem Frühern nicht überall derselbe und müsste darum für einen bestimmten Ort angenommen werden, wenn die Unterschiede an der Oberfläche der Erde beträchtlich genug wären.

Die Bewegung der Körper erfolgt in der Wirklichkeit niemals durch eine Kraft, welche nur während eines unendlich kleinen Zeittheilchens oder nur *momentan* wirkt, sondern immer durch Ursachen, denen sie während einer messbaren Zeit unterworfen sind. Wenn z. B. ein Gewehr abgefeuert wird, so entwickelt sich das Gas allmälig aus dem

Schiesspulver und ertheilt der Kugel nach und nach eine zunehmende Geschwindigkeit. Bei dem Schlag mit dem Hammer auf einen Nagel werden die elastischen Theile des Hammers und des Nagels zuerst zusammengepresst. Der Hammer durchläuft also noch nach der ersten Berührung einen gewissen Raum, zu dem er Zeit braucht, und auch der Nagel überwindet die Widerstände nur allmälig.

Die Mittheilung und Hemmung der Bewegung kann nun erfolgen, indem die *wirkende Kraft gleich bleibt.* In diesem Fall heisst sie *gleichförmig beschleunigend oder verzögernd.* Sie kann aber auch wachsen und abnehmen.

Wenn eine Kraft, wie z. B. die Schwere, in kleinen Abständen von der Erde, mit unveränderter Stärke und ununterbrochen auf einen Körper wirkt und ihm in einem gewissen Zeittheilchen die Geschwindigkeit v ertheilt, so wird er vermöge der Trägheit auch im nächsten Zeittheilchen mit dieser Geschwindigkeit fortgehen. Die fortdauernde Wirkung der Kraft ertheilt ihm aber in dem zweiten gleichgrossen Zeittheilchen dieselbe Bewegung, und er muss also die Geschwindigkeit $2v$ erhalten. Auf dieselbe Art wird seine Geschwindigkeit im dritten, gleich $3v$, und im $n$ten gleich nv. Beträgt die am Ende einer Sekunde auf solche Art erlangte Geschwindigkeit g, so ist also die am Ende von t Sekunden erlangte Geschwindigkeit

$$c = gt.$$

Ist die constante Kraft z. B. fünfmal grösser, so wird auch v fünfmal so gross, und ebenso wird die in einer beliebigen Anzahl oder in n Zeittheilchen erlangte Geschwindigkeit, statt nv, nun $5nv$. Desshalb erlangt der Körper in 1 Sekunde statt der Geschwindigkeit g, nun die Geschwindigkeit $5g$. Auf der Sonne muss also z. B. ein Körper durch den Fall in 1 Sekunde nach §. 16. eine $28\frac{1}{2}$mal grössere Geschwindigkeit erhalten, als auf der Erde. Daraus sieht man, *dass die Geschwindigkeit, welche eine und dieselbe Masse in* e i n e r *Sekunde durch gleichbleibende Einwirkung einer Kraft erlangt,* auch als *Maass für die Grösse der beschleunigenden Kraft dienen kann.* Die Grösse des Werths von g wird auch die *Acceleration* genannt. Auf der Erde ist diese Grösse bei fallenden Körpern nicht überall gleich. Sie beträgt für Deutschland der Erfahrung gemäss 9,81 Meter oder $31\frac{1}{4}$ Preuss. und 32,7 Bad. Fuss.

§. 71.

Der Druck von 1 Kilogr. ertheilt der Masse von 1 Kilogr. in einer Sekunde, der obigen Erfahrung gemäss, eine Geschwindigkeit von 9,81 Meter. Dieser Druck wirkt vertikal und ist eine Folge der Anziehung der Erde. Wirkt ein gleichgrosser Druck oder die *Krafteinheit* in irgend einer andern Richtung constant auf die Masse von 1 Kilogr., ohne dass andere Kräfte oder Widerstände einen Einfluss haben, wie z. B. wenn sich eine Kugel ohne alle Reibung auf einer horizontalen Ebene bewegte, so wird sie der *Masseneinheit,* oder der Masse von *einem* Kilogramm, in 1 Sekunde ebenfalls 9,81 Meter Geschwindigkeit ertheilen. Eine Kraft K oder die Kmal grössere Kraft ertheilt also auch dem Kilogramm in 1 Sekunde eine Kmal grössere Geschwindigkeit

$$C = 9{,}81\ K.$$

Wenn aber dieselbe Kraft K auf P Kilogr. wirkt, so vertheilt sich

ihre Wirkung und es kommt auf jedes einzelne Kilogr. nur die Kraft $\frac{K}{P}$. Die in einer Sekunde erlangte Geschwindigkeit ist also nur

$$C = 9{,}81 \,.\, \frac{K}{P}.$$

Dauert diese Wirkung aber T Sekunden lang, so wird die Geschwindigkeit

$$C = 9{,}81 \,.\, \frac{KT}{P}.$$

Daraus folgt, dass die Kraft K, welche der Masse von P Kilogr. in T Sekunden die Geschwindigkeit C ertheilt, ausgedrückt wird durch

$$K = \frac{PC}{9{,}81\,T}.$$

Ertheilt nun eine andere Kraft K' der Masse P' in T' Sekunden die Geschwindigkeit C' so ist ebenso

$$K' = \frac{P'C'}{9{,}81\,T'}.$$

Die Kräfte K und K' sind also einander gleich, wenn

$$\frac{PC}{T} = \frac{P'C'}{T'}.$$

Sind aber auch die Zeiten T' und T einander gleich, so sind es die Kräfte, wenn

$$PC = P'C'.$$

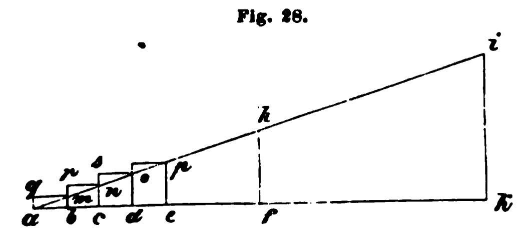
Dieses Produkt der Masse in die Geschwindigkeit nennt man die *Bewegungsgrösse. Constante Kräfte sind also gleich, wenn sie in gleichen Zeiten gleiche Bewegungsgrössen erzeugt haben.*

Man darf aber nicht daraus schliessen, dass wenn zwei verschiedene Massen durch Kräfte in Bewegung gesetzt wurden und nach *ungleichen* Zeiten gleiche Bewegungsgrössen erhielten, die bewegenden Kräfte ebenfalls gleich waren. Eben so wenig sind es die Wirkungen der bewegten Körper, wenn ihre Bewegung nicht in gleichen Zeiten aufgehoben wird. Eine Kanonenkugel von 12 Kilogr. und 400 Meter Geschwindigkeit hat dieselbe Bewegungsgrösse, als eine Eismasse von 4800 Kilogr. und 1 Meter Geschwindigkeit; ihre Wirkung auf einen widerstehenden Körper ist aber nicht dieselbe.

§. 72.

Um die Räume zu finden, welche ein Körper vermöge einer beständig wirkenden Kraft in einer gewissen Zeit zurücklegt, bezeichnen wir in Fig. 28 durch af die Zeit einer Sekunde und durch fh die in dieser Sekunde erlangte Geschwindigkeit g, ferner durch ab den n ten Theil einer Sekunde und durch bm die in diesem ersten Zeittheilchen erlangte Geschwindigkeit v, so muss

Fig. 28.



nach dem §. 70 auch bm der $n$te Theil von fh sein, also ist $af : ab = fh \; bm$. Ebenso ist für das zweite gleich grosse Zeittheilchen bc die erlangte Geschwindigkeit $2v = cn$, wenn $af : ac = fh : cn$. Die im ersten, zweiten, dritten ... Zeittheilchen erlangten Geschwindigkeiten werden sich also wie die zwischen den geraden Linien ah und af liegenden Stücke bm, cn, do u. s. w. verhalten. Nimmt man nun an, dass die Zeittheilchen ab, bc ... so klein seien, dass sich die Geschwindigkeiten während derselben nicht ändern, so drücken nach §. 69 die kleinen Rechtecke $abmq$, $bcnr$, $cdos$ die in ihnen durchlaufenen Räume aus, wenn der vermöge der Geschwindigkeit $g = fh$ in einer Sekunde durchlaufene Raum durch das aus der Linie af und fh gebildete Rechteck ausgedrückt wird. Die Summe der kleinen Rechtecke $abmq$, $bcnr$, $cdos$ u. s. w. nähert sich aber um so mehr dem Dreieck ado, je kleiner die Zeittheilchen angenommen werden, und je kleiner also die ausserhalb fallenden kleinen Dreiecke aqm, mrn ... sind. Je kleiner aber diese Zeittheilchen angenommen werden, desto genauer stimmt die Annahme mit der Wirkung einer beständigen Kraft überein, und man ist darum berechtigt zu sagen, dass die Summe der vielen kleinen Rechtecke von a bis f oder das Dreieck afh die Grösse des in der ersten Sekunde durchlaufenen Raumes ausdrückt, wenn der in einer Sekunde vermöge der gleichförmigen Geschwindigkeit $g = fh$ durchlaufene Raum durch das Rechteck von af und fh vorgestellt wird. *Es ist also der Raum, welchen ein Körper vermöge der beschleunigenden Wirkung einer beständigen Kraft in der ersten Sekunde zurücklegt, halb so gross als der Raum, welchen er vermöge der am Ende dieser Sekunde erlangten Geschwindigkeit zurücklegen würde, wenn er sich von nun an nur vermöge der Trägheit fortbewegte.*

In zwei Sekunden durchläuft auf gleiche Art der Körper einen Raum, dessen Grösse durch das Dreieck aki vorgestellt wird, wenn $fk = af$ ist. Dieses Dreieck ist aber viermal so gross, als das Dreieck afh, und der Körper durchläuft also in 2 Sekunden den vierfachen Raum. Ebenso wird der in t Sekunden durchlaufene Raum durch ein dem Dreieck afh ähnliches Dreieck vorgestellt, dessen Seite aber t mal so gross und dessen Inhalt also t^2mal so gross ist.

Der Raum, welchen der Körper in der ersten Sekunde vermöge einer gleichförmig wirkenden Kraft zurücklegt, ist nach dem Obigen $= \frac{g}{2}$, wenn die in der ersten Sekunde erlangte Geschwindigkeit $= g$ ist. Der Raum s aber, welchen der Körper in t Sekunden zurücklegt, ist t^2mal so gross und wird also ausgedrückt durch die Formel

$$1) \; s = \frac{g}{2} t^2.$$

Nach dem Frühern ist für dieselbe Beschleunigung

$$2) \; c = g t.$$

Erhebt man diese Gleichung in's Quadrat und dividirt man durch die erste, so wird

$$\frac{c^2}{s} = 2g$$

folglich 3) $c^2 = 2gs$

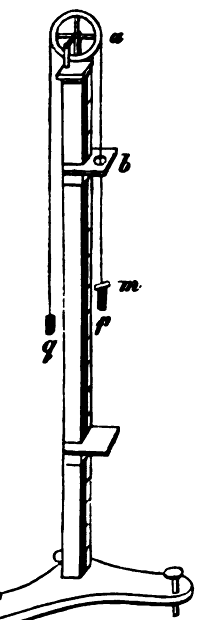
und 4) $s = \frac{c^2}{2g}$

Diese vier Formeln enthalten den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit, beschleunigender Kraft, Raum und Zeit. Für Körper, die an der Oberfläche der Erde *fallen*, ist $g = 9{,}81$ Meter. Der *Fallraum* in *einer* Sekunde ist also $\frac{9{,}81}{2}$ oder 4,9 Meter = $15^5/_8$ Preuss. Fuss = 16,35 Bad. Fuss. In 2 Sekunden fällt ein Körper durch 4,9.4 Meter, in 3 Sekunden durch 4,9.9 Meter u. s. w. In der ersten Sekunde fällt er also durch 4,9 Meter, in der zweiten durch 4,9.3, in der dritten durch 4,9.5 Meter u. s. w.

Den Satz, dass der Fallraum in der ersten Sekunde die Hälfte von der in 1 Sekunde erlangten Geschwindigkeit ist, kann man auch auf folgende Art zur Anschauung bringen. Der Körper hat im Anfang die Geschwindigkeit 0 und am Ende der Sekunde die Geschwindigkeit 9,81 Meter, also ist seine mittlere Geschwindigkeit $\frac{9{,}81}{2}$. Diese mittlere Geschwindigkeit ist aber der Raum, den er zurücklegte.

Die obigen Gesetze sind ganz allgemein, die Fallgesetze sind nur eine spezielle Folge davon. Wenn auf dem Eise ein Schlitten von 9 Kil. keine Reibung erfährt und durch eine Schnur in Bewegung gesetzt wird, welche mit einer Kraft von 1 Kilogr. beständig gespannt ist, so erlangt er in der ersten Sekunde eine Geschwindigkeit von $\frac{9{,}81}{9}$ oder 1,09 Meter, und legt in ihr einen Weg von 0,54 Meter zurück. Derselbe hat nach 5 Sekunden eine Geschwindigkeit von 5,45 Meter. Eine Kanonenkugel werde in einem 2 Meter langen Lauf durch das entwickelte Gas mit einem Druck von 18000 Kil. bewegt, während ihr eigenes Gewicht nur 3 Kilogr. ist, so wird $g = \frac{9{,}81 \,.\, 18000}{3} = 58860$, und weil sie nur durch den Raum von 2 Meter dieser Beschleunigung unterworfen ist, so erlangt sie nach der Formel $c^2 = 2gs$ eine Geschwindigkeit von $c = \sqrt{2.58860.2} = 485$ Meter. Die Zeit, die sie dazu braucht, ist nach der Gleichung $c = gt$ oder $t = \frac{c}{g}$ nur $\frac{485}{58860}$ Sekunden oder sie verlässt den Lauf in $^1/_{121}$ Sekunde, nachdem das Pulver entzündet ist.

Fig. 29.



Galiläi hat die Fallgesetze entdeckt, theils indem er Körper von grossen Höhen, theils indem er sie auf schiefen Ebenen herabfallen liess. Durch Hilfe eines sehr sinnreichen Apparates von *Atwood*, Fig. 29, ist man im Stande, sie genauer zu beobachten. Das Wesentliche dieses Apparates besteht in Folgendem: Ueber eine Rolle *a* mit horizontaler Axe läuft ein ganz feiner Seidenfaden, der an seinen beiden Enden durch zwei gleiche, cylindrische Gewichte *p* und *q* von z. B. 7 Loth, gespannt wird. Der Faden habe ein ganz unmerkliches Gewicht, und die Drehung der Rolle werde durch Reibung nicht gehemmt; so wird der geringste, dem einen oder andern Gewichte ertheilte Stoss beide Gewichte in gleichförmige Bewegung versetzen. Durch *Oertlings* Vorrichtung ist die Reibung der Rolle sehr vermindert. Es läuft nämlich ihre in konischen Zapfen sich endende Achse in Hohlkegeln, welche in einen stumpfen Winkel enden, und weil ihre Spitzen noch etwas hinter den Enden der Zapfen sich befinden, diese nur in einem Punkte berühren. Legt man nun z. B. auf eines der cylindrischen Gewichte ein Metallstäbchen *m* von 1 Loth, so vermag dieses nicht zu sinken, ohne dass beide Gewichte,

zusammen von 14 Loth, an seiner Bewegung theilnehmen. Die Kraft, welche dem Stäbchen in der ersten Sekunde beim freien Fall die Geschwindigkeit 9,81 M. ertheilt haben würde, wirkt also jetzt auf eine 15mal grössere Masse und ertheilt darum dieser auch nur die Geschwindigkeit $\frac{9,81}{15}$. Desshalb ist auch der Fallraum in der ersten Sekunde nur der 15te Theil von $\frac{9,81}{2}$. Man wird desshalb mittelst der auf dem Apparate befindlichen Scala finden, dass die Gewichte in 1 Sek. nur $\frac{4,9}{15}$ M., in 2 Sek. $4 \cdot \frac{4,9}{15}$ M. fallen u. s. w. Auf ähnliche Art kann man den Fallraum in einer Sekunde beliebig verkürzen. Die Zeit beobachtet man mittelst eines in der Nähe stehenden Sekundenpendels oder mit Hülfe eines Metronoms. Das Pendel kann auch in solche Verbindung mit dem Fallapparat gebracht werden, dass der Anfang einer Pendelschwingung mit dem des Falls zusammentrifft. Auch das Gesetz, dass ein Körper, der in einer gewissen Zeit, unter Einwirkung der beschleunigenden Kraft der Schwere, durch einen Raum S gefallen ist, eine Geschwindigkeit erlangt hat, vermöge welcher er nachher in derselben Zeit, bei aufhörender Wirkung der Schwere, den doppelten Raum durchlaufen würde, wird durch diesen Apparat bestätigt; indem man das Stäbchen m so auf den Cylinder p legt, dass es auf beiden Seiten desselben hervorragt, und indem der Cylinder in einer gewissen Tiefe durch den Ring b fällt, ersteres darauf liegen bleibt. Da nun beide Gewichte gleich sind, so können sie nur vermöge der erlangten Geschwindigkeit fortgehen. Welche Rücksicht man übrigens auf das Gewicht des Fadens, die Masse der Rolle u. s. w. bei solchen Versuchen zu nehmen hat, muss einer ausführlichen Erörterung überlassen bleiben. Den Fallraum der ersten Sekunde nannte man auch das *Maass der Beschleunigung*; Neuere bezeichnen damit den doppelten Raum oder die Geschwindigkeit am Ende der ersten Sekunde.

Die beiden Gewichte seien wie oben p und q; das Trägheitsmoment der Rolle a gleich r und die in der Zeit t erlangte Geschwindigkeit sei v, so ist nach *Poisson* streng genommen $\frac{v}{gt} = \frac{p-q}{p+q+r}$. Würde nun q aufwärts bewegt, mit einem Druck $2q$, so würde es in 1 Sek. die Geschwindigkeit g erlangen und der Druck auf die Unterlage würde $= q\ (1 + 1)$. Ist aber der Druck nur so, dass q in t Sekunden die Geschwindigkeit v erlangt, so ist der aufwärts wirkende Druck q vorhanden und noch ein Druck x, der die Beschleunigung $\frac{v}{t}$ bewirkt. Da nun die Beschleunigungen sich verhalten wie die Kräfte, so ist $x : q = \frac{v}{t} : g$, folglich $x = \frac{q.v}{gt}$. Der ganze Druck von q auf die Unterlage ist also beim Steigen $= q\left(1 + \frac{v}{gt}\right)$ und beim Sinken ist er $= q\left(1 - \frac{v}{gt}\right)$. Beim Steigen ist er also grösser, beim Sinken kleiner als das Gewicht, wie *Poggendorff* durch den Versuch gezeigt hat.

§. 73.

Ein bewegter Körper geht mit gleichförmiger Geschwindigkeit fort, wenn die bewegende Kraft nicht mehr auf ihn wirkt und kein Widerstand da ist, welcher seine Bewegung hemmt. Trifft er aber auf einen Widerstand, so kann dieser seine Geschwindigkeit *gleichförmig* oder *ungleichförmig* vermindern. Im erstern Falle beträgt diese Verminderung für jedes Zeittheilchen gleichviel. Angenommen, sie betrage in 1 Sekunde g, so beträgt sie in t Sekunden gt. War die anfängliche Geschwindigkeit c, so ist sie also nach t Sekunden noch $c - gt$.

Wenn also ein constanter Widerstand auf einen bewegten Körper wirkt, so erfolgt die Verminderung seiner Geschwindigkeit ganz nach demselben Gesetz, nach welchem die Vergrösserung derselben stattfindet.

Hat also eine Masse von dem Gewicht P die Geschwindigkeit C, so vermindert ein constanter Widerstand K diese Geschwindigkeit um eben so viel, als die Kraft K der Masse P in einer Sekunde nach §. 71 Geschwindigkeit ertheilt, oder um

$$g = 9{,}81 \,.\, \frac{K}{P}$$

folglich in T Sekunden um

$$g\,T = 9{,}81 \,.\, \frac{K\,T}{P} = C.$$

Dies ist nach §. 71 die Geschwindigkeit, die sie in T Sekunden durch die Kraft K erlangt hätte. Da

$$K = \frac{P\,C}{9{,}81\;T}$$

so *hat also die Geschwindigkeit C den bewegten Körper P gleichsam zu einem Magazin von Kraft gemacht, vermöge deren er während T Sekunden den obigen Widerstand K zu überwinden vermag, bis er zur Ruhe kommt.* Diese Zeit wird ausgedrückt durch

$$\text{I.}\quad T = \frac{P\,C}{9{,}81\;K}.$$

Eine Masse von 100 Kilogr., die 20 Meter Geschwindigkeit hat, kann also einen beständigen Widerstand von 60 Kil. während $\frac{100\,.\,20}{9{,}81\,.\,60}$ oder 3,4 Sekunden überwinden. Wenn aber ein Körper unter der Einwirkung einer Kraft, welche seine Geschwindigkeit in jeder Sekunde um g vergrössert, die Geschwindigkeit c erlangt hat, so muss er sich nach §. 72 durch den Raum

$$s = \frac{c^2}{2\,g}$$

bewegt haben. Umgekehrt muss er also auch zur Ruhe kommen, wenn er anfänglich die Geschwindigkeit c hat und auf einen Widerstand trifft, der seine Geschwindigkeit in jeder Sekunde um g vermindert, nachdem er den Raum

$$s = \frac{c^2}{2\,g}$$

durchlaufen hat. *Die Geschwindigkeit C macht also den bewegten Körper gleichsam zu einem Magazin von Kraft, vermöge deren er auf die Länge von*

$$S = \frac{C^2}{2\,g}$$

Meter einen Widerstand zu überwinden vermag, der einer Kraft gleich ist, welche in jeder Sekunde seine Geschwindigkeit um g vermindert.

Bei einer Masse von P Kilogr. und einem Widerstand K wird nach dem Obigen diese Verminderung der Geschwindigkeit ausgedrückt durch

$$g = \frac{9{,}81\,.\,K}{P}$$

Es wird also der Raum S, durch welchen der Körper P, der die Geschwindigkeit C hat, den Widerstand K zu überwinden vermag, gefunden durch

$$S = \frac{C^2}{2g}$$

oder wenn man für g den obigen Werth setzt, durch

$$\text{II.} \quad S = \frac{P C^2}{2 \cdot 9{,}81\ K}.$$

Ein senkrecht in die Höhe geworfener Stein, welcher eine Geschwindigkeit von 39,24 Meter hat, wird nach einer Sekunde nur noch 39,24 — 9,81 = 29,43 Meter Geschwindigkeit haben, weil die Schwere einen Widerstand leistet, der ihm in 1 Sekunde nach entgegengesetzter Richtung eine Geschwindigkeit von 9,81 Meter ertheilt. Nach 2 Sekunden ist seine Geschwindigkeit noch 39,24 — 19,62 = 19,62, nach drei Sekunden 39,24 — 29,43 = 9,81 Meter, und nach 4 Sekunden 39,24 — 39,24 oder Null. Er fängt also wieder zu fallen an und hat nach 1 Sekunde die Geschwindigkeit 9,81, nach 2 Sekunden die Geschwindigkeit 19,62 Meter, nach 4 Sekunden 4.9,81 oder 39,24 Meter; er kommt also mit derselben Geschwindigkeit zurück, mit der er zu steigen anfing; oder ein Körper, der beim senkrechten Wurf 8 Sekunden lang ausbleibt, ist 4 Sekunden lang gestiegen und 4 gefallen. In 4 Sekunden fällt ein Körper durch 16 . 4,9 Meter, eben so hoch muss er also auch gestiegen sein. Daraus ergibt sich die Höhe, die er erreicht hat.

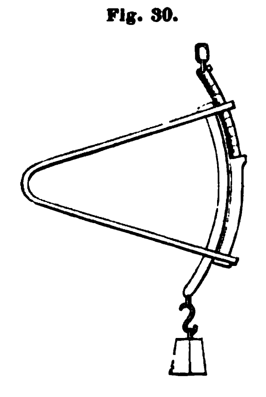
Wenn eine Kanonenkugel mit 400 Meter Geschwindigkeit senkrecht abgeschossen wird, so ist $c = 400$, und da $gt = c$ ist, so ist $t = \frac{400}{9{,}81}$ oder 40 Sekunden. Die Kugel steigt also 40 Sekunden lang und erreicht eine Höhe von 40 . 40 . 4,9 Meter oder 7840 Meter, wobei jedoch der Widerstand der Luft aus der Rechnung gelassen ist.

Ein Wagen der 1000 Kil. schwer ist, einen Reibungswiderstand von 50 Kil. zu überwinden hat und 2 Meter Geschwindigkeit besitzt, bewegt sich also noch durch $\frac{1000 \cdot 4}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 50}$ oder 4 Meter, bis er zur Ruhe kommt.

§. 74.

Die Widerstände, welche sich der Bewegung der Körper entgegensetzen, sind von sehr verschiedener Art. Bei einem ruhenden Körper ist die Trägheit, bei einem senkrecht in die Höhe geworfenen die Schwere zu überwinden. In andern Fällen die Elastizität, Cohäsion oder Adhäsion. Der Arbeiter hat beim Feilen, Sägen, Ziehen, Pumpen, Hobeln u. dgl. Widerstände zusammengesetzter Art zu besiegen, zu deren genauerer Bestimmung das *Dynamometer* oder der *Kraftmesser* dient. Es besteht aus einer starken gebogenen Stahlfeder, Fig. 30, an deren unteren Schenkel das äussere bogenförmige Metallstück befestigt ist, das oben frei durch einen Schlitz in der Stahlfeder geht und eine Theilung hat. An dem obern Ende desselben ist ein Ring zum Aufhängen oder Befestigen. Das innere bogenförmige Metallstück ist oben an der Stahlfeder befestigt und geht unten frei durch eine Oeffnung in derselben. An diesem Stück wird unten ein Gewicht aufgehängt, um dasselbe zu graduiren. Je schwerer dieses Gewicht ist, desto stärker wird die Feder zusammengedrückt. Die Stellen, die der obere Schenkel auf dem äussern Bogenstück bei 1, 2, 3 . . . Kilogr. Belastung einnimmt, werden auf demselben durch Striche bezeichnet, und dadurch entsteht eine Scala, welche angibt, mit welcher Kraft die Feder zusammengedrückt wird, wenn z. B. der Ring an

Fig. 30.



einen Pflug befestigt ist und die Pferde an einem an den Haken befestigten Seil ziehen. Ist die Feder während des Zugs bis zur Zahl 140 zusammengepresst, so ist dies ein Beweis, dass der Pflug mit einer Kraft von 140 Kilogr. angezogen ist.

Die *Wirkung der Kraft*, indem sie einen gleichmässigen Widerstand überwindet, ist um so grösser, je länger der Weg ist, durch welchen dieses geschieht. Wenn die Pferde in obigem Beispiel eine Länge von 300 Meter gepflügt haben, so ist die Wirkung ihrer Kraft dreimal so gross, als unter sonst gleichen Umständen nach Durchpflügung einer Länge von 100 Meter. Daraus sieht man, dass es möglich ist, auch für die Wirkungen ihrer Kräfte ein bestimmtes Maass einzuführen. Zur Einheit dient der Begriff von *1 Kilogrammeter* oder *die Wirkung einer Kraft, welche erfordert wurde, um einen beständigen Widerstand von 1 Kilogramm auf die Länge von 1 Meter zu überwinden.*

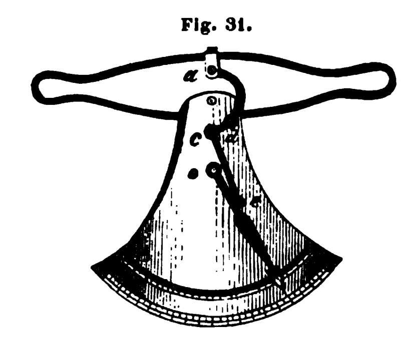
Statt dieses Maasses kann man auch ein Fusspfund zu Grunde legen. Es ist alsdann in badischem Maass und Gewicht 1 Kil.-M. = $3^1/_5$. 2 = $6^2/_5$ Fusspfund.

Wenn ein Widerstand von 8 Kilogr. auf 1 Meter Länge überwunden werden soll, so muss die Wirkung der Kraft 8mal so gross sein, oder 8 Kil.-M. sein, und ist dieser Widerstand auf die Länge von 3 Meter zu überwinden, so muss die Wirkung dreimal so gross oder 24 Kil.-M. sein. Dieses *Produkt der Kraft oder des Widerstands in den Weg, wird auch die Arbeitsgrösse* genannt. Man sieht daraus, dass die Wirkungen der Kräfte gleich sind, wenn die Produkte der Widerstände in den Weg einander gleich sind. Wenn 50 Kilogr. 12 Meter hoch gehoben werden, so leisten sie einen beständigen Widerstand von 50 Kilogr. Die Wirkung der Kraft, nachdem sie gehoben sind, ist 50 . 12 oder 600 Kil.M. Das Fortziehen einer Last von 200 Kil. erfordert auf der Eisenbahn eine Kraft von 1 Kilogr., indem der Widerstand wegen der Reibung den 200sten Theil der Last beträgt. Wenn Jemand obige Last 600 Meter weit fortzieht, so hat er also 600 Kil.M. Arbeit verrichtet, wie Derjenige, welcher 50 Kil. 12 Meter hoch getragen hat. Auf die Zeit kommt es dabei natürlich nur in so ferne an, als die Kraft grösser sein muss, wenn dieselbe Arbeit in kürzerer Zeit verrichtet werden soll. Ein Arbeiter, der jene 50 Kilogr. in kurzer Zeit hinaufträgt, hat nicht weniger gethan, als ein anderer, der länger damit belastet war, weil er bald stehen blieb, bald langsam weiter trug.

In der angewandten Mechanik wird statt des Arbeitsmaasses von 1 Kil.M. auch häufig eine *Pferdskraft* von 70 Kil.M. als Einheit gebraucht, weil ein gutes Pferd, wenn es täglich 8 Stunden lang arbeitet, der Erfahrung gemäss in jeder Sekunde einen Widerstand von 70 Kil. durch den Raum von 1 Meter zu überwinden vermag. Die Arbeit, die es demnach in einer Minute verrichtet, ist 4200 Kil.M. und in einer Stunde 252000 Kil.M. Bei Dampfmaschinen gilt die Ausnahme, dass man eine Pferdskraft zu 75 Kil.M. rechnet. Was hier Pferdskraft heisst, ist aber nicht Kraft, sondern *Wirkung der Kraft des Pferdes* in einer Sekunde.

Ein Kraftmesser, welcher zur Angabe grösserer Zugkräfte und auch zugleich von Druckkräften dient, ist in Fig. 31 abgebildet. Die ovale, sehr elastische Feder kann durch eine Zugkraft nach der Längenrichtung ausgedehnt werden, dann wird sie aber in der Querrichtung zusammengedrückt. An dem untern Theile dieser

Fig. 31.



Feder ist eine Metallscheibe befestigt, die mit einem Zeiger versehen ist, der sich mit Reibung um o drehen lässt. Um den Punkt c dreht sich der Winkelhebel dce. Das Eisenstück ad ist mit ihm durch ein Gelenk bei d verbunden und lässt sich selbst um a drehen. Wird nun die Feder zusammengedrückt, so nähert sich a dem c. Der Winkelhebel muss also den Zeiger nach links verschieben. Die eine Scala dient, um die Kraft anzugeben, mit welcher das Dynamometer der Längenrichtung nach gedehnt wurde, die andere, um z. B. die Muskelkraft anzugeben, die angewendet wurde, um es mit den Händen an den beiden Einbiegungen zusammenzudrücken.

§. 75.

Bei Körpern, die, ohne Widerstand zu erleiden, sich fortbewegen können, wird durch die Kraft eine gewisse Geschwindigkeit erzeugt, vermöge deren sie gleichsam Magazine von Kraft werden und nun ebenfalls einen Widerstand zu überwinden vermögen. Wirkt z. B. auf einen Körper durch den Raum S eine Kraft K, so ist ihre Wirkung $= K \, . \, S$ Kil.M., und der Körper kann nun vermöge seiner Trägheit einen Widerstand von K Kilogr. auf die Länge S überwinden, bis er zur Ruhe kommt. Ebenso kann er den Widerstand K' auf den Raum S' überwinden, wenn $KS = K'S'$ ist. Diesen Satz drückt man gewöhnlich so aus: Wirkung und Gegenwirkung sind einander gleich. Ein richtiges Verständniss dieses Satzes ist aber von der grössten Wichtigkeit, und es werden darum einige Beispiele hier nützlich sein. Ein Stein, der drei Meter hoch gefallen ist, hat dadurch eine Geschwindigkeit erlangt, mit welcher er, wenn ihre Richtung umgekehrt werden könnte, wieder drei Meter hoch steigen würde. Ein Gewicht von 50 Kilogr., welches 12 Meter hoch getragen wurde, hält, wenn es an dem einen Ende eines Seils befestigt wird, das über eine Rolle läuft, einem andern Gewicht von 50 Kilogr. das Gleichgewicht, und vermag dasselbe durch den geringsten Ueberschuss von Kraft um 12 Meter durch sein eigenes Sinken zu heben, wenn von der Reibung abstrahirt wird. An einer guten Waage hebt 1 Kilogr., welches um 1 Zoll sinkt, eine Last von 1 Kilogr. eben so hoch, wenn nur 1 Miligramm mehr in seine Schaale gelegt wird u. s. w.

Aus dem Obigen folgt, dass ein Körper A, der durch den Raum S mit der Kraft K, und durch den Raum S' mit der Kraft K' bewegt wurde, ohne einen Widerstand zu erleiden, und auf den also die Wirkung $KS + K'S'$ verwendet wurde, nun vermöge der Trägheit ein Kraftmagazin geworden ist, das den Widerstand $KS + K'S'$ zu überwinden vermag, und also eine gewisse *Wirkungsfähigkeit* besitzt. Um also die *Wirkungsfähigkeit eines trägen Körpers zu finden, muss man die Summe der Produkte aus den Wegen und den auf ihn gewirkt habenden Kräften oder die Wirkung jener Kräfte suchen*, und wenn Widerstände ihm entgegenstunden, diese davon abziehen. Der §. 73 Formel II. zeigt nun, dass ein Körper von der Masse P, welcher die Geschwindigkeit C hat, das Vermögen besitzt, einen Widerstand K durch den Raum

$$S = \frac{P\,C^2}{2 \, . \, 9{,}81 \, . \, K}$$

zu überwinden, ehe er zur Ruhe kommt. Wenn er aber durch den Raum S den Widerstand K überwindet, so ist die Arbeit die er verrichtet $= KS$, und da

$$KS = \frac{PC^2}{2 \,.\, 9{,}81}$$

so ist dies die Arbeit, welche der Körper P vermöge der Geschwindigkeit C zu verrichten vermag. Dieser Ausdruck

$$\frac{PC^2}{2 \,.\, 9{,}81}$$

heisst darum die Wirkungsfähigkeit des Körpers. Die Wirkungsfähigkeit des Gewichts P bei der Geschwindigkeit C ist ganz unabhängig von der Richtung der Anziehungskraft, und also auch von der Oertlichkeit, weil die in dem Gewicht P enthaltene Masse z. B. auf der Sonne zwar das Gewicht 28 P hat, dort aber auch die durch 9,81 ausgedrückte Acceleration 28mal grösser ist und $\frac{P}{2 \,.\, 9{,}81} = \frac{28\,P}{2 \,.\, 28 \,.\, 9{,}81}$.

Im §. 17 ist gezeigt worden, was unter Masse zu verstehen sei. Da die Anziehungskraft in gleichem Verhältniss mit der Acceleration und dem Gewicht derselben Masse wächst, so kann man sie auf der Erde auch durch die Zahl 2 . 9,81, auf der Sonne durch 2 . 28 . 9,81 ausdrücken. Der Ausdruck $\frac{P}{2 \,.\, 9{,}81}$ bezeichnet alsdann die in dem Gewicht P enthaltene *Masse*, und wenn man diese durch M ausdrückt, wodurch $M = \frac{P}{2 \,.\, 9{,}81}$ wird, so wird die *Wirkungsfähigkeit* W durch

$$W = MC^2$$

vorgestellt. Dieses *Produkt der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit* nennt man auch statt *Wirkungsfähigkeit, die lebendige Kraft* der Masse M. Unter M versteht man aber häufig nicht $\frac{P}{2 \,.\, 9{,}81}$, sondern $\frac{P}{9{,}81}$, was bei Rechnungen berücksichtigt werden muss. Der Unterschied rührt daher, dass man, seitdem zuerst *Leibnitz* und *Huyghens* darauf hingewiesen haben, die Wirkung eines Körpers sei nicht seiner Geschwindigkeit, sondern dem Quadrat derselben proportional, diesen Satz gewöhnlich als ein Prinzip ohne Beweis hinstellte, und nur nach der relativen, nicht nach der absoluten Grösse der Wirkungsfähigkeit fragte.

Durch das Obige ist gezeigt worden, wie man die Wirkungen der Kräfte mit einander vergleichen kann. Die grosse Wichtigkeit dieser Gesetze hat man erst durch die Fortschritte der Industrie kennen gelernt, und es ist kaum zu zweifeln, dass man die Wirkungen der Wärme, der Elektrizität und vielleicht aller Naturkräfte einst auf dasselbe Maass zurückführen wird. Folgende Beispiele mögen dazu dienen, genauere Bekanntschaft mit diesen Gesetzen zu machen.

1) Eine Eisenstange ist durch die Verbrennung von einem Pfund Steinkohlen um + 0,03 M. ausgedehnt worden und hat dabei einen Druck von 8000 Kilogramm überwunden. Die Wirkung der Kohle war demnach 0,03 . 8000 oder 240 Kil.M.

2) Ein Mensch will mittelst einer Flugmaschine sich in jeder Sekunde 1 Meter hoch heben, welcher Wirkung muss er fähig sein, wenn sein und der Maschine Gewicht zusammen 80 Kilogr. beträgt? Offenbar müsste die Wirkung seiner Kraft 80 . 1 Kil.M., also grösser als die eines Pferdes sein.

3) Die Wirkungsfähigkeit einer Kanonenkugel von 12 Kilogr., welche 500 Meter Geschwindigkeit hat, ist $\frac{12 \, . \, 500 \, . \, 500}{2 \, . \, 9{,}81}$ oder 152900 Kil.M. Das Gewicht des Laufs und der Lafette beträgt gewöhnlich 300mal so viel, als das der Kugel, oder 3600 Kilogr. Wenn die Geschwindigkeit der Kugel 500 und die des Laufs x ist, so muss, weil beide vermöge der nach beiden Seiten gleichdauernden Wirkung des Pulvers gleiche *Bewegungsgrössen* haben, $3600 \, . \, x = 500 \, . \, 12$, also $x = {}^5/_3$ Meter sein. Die Wirkungsfähigkeit des Laufs ist also nur $\frac{25}{9} \, . \, \frac{3600}{2 \, . \, 9{,}81}$ oder 509 Kil.M. oder 300mal kleiner als die der Kugel. Um in jeder Sekunde eine Kugel von der obigen Wirkungsfähigkeit fortzuschleudern, wäre eine Maschine von $\frac{152900}{70}$ oder 2184 Pferdekräften nöthig, und um es in jeder Minute einmal zu thun, sind $\frac{2184}{60} = 36$ Pferdekräfte erforderlich.

4) Die Geschwindigkeit der Erde beträgt 30000 Meter, ihr Gewicht ohngefähr 5 Quatrillionen Kilogr.; ihre Wirkungsfähigkeit also $\frac{30000^2}{2 \, . \, 9{,}81}$. 5 Quatrillionen Kilogrammeter. Nimmt man an, eine Dampfmaschine von x Pferdekräften habe ihr diese Wirkungsfähigkeit in 6000 Jahren nach und nach zu ertheilen, so muss $6000 \, . \, 365 \, . \, 24 \, . \, 60 \, . \, 60 \, . \, 70\, x$ gleich der obigen Wirkungsfähigkeit sein. Diess gibt für x ohngefähr 17 Trillionen Pferdekräfte. Es müsste also eine Maschine von dieser ungeheuren Kraft 6000 Jahre lang Tag und Nacht arbeiten, um einer Masse, wie unsere Erde ist, nach und nach obige Geschwindigkeit zu ertheilen. Dazu wären dem Gewicht nach ohngefähr 300mal so viel Steinkohlen nöthig, als das Gewicht der ganzen Erde beträgt.

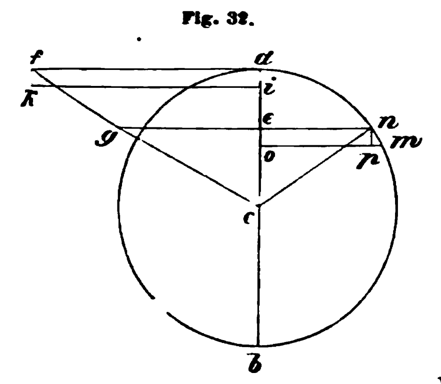
5) Da die Wirkungsfähigkeit mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wächst, so ist begreiflich, warum der Stoss bei Eisenbahnzügen so gross ist. Ein Zug von 50000 Kilogr. und einer Geschwindigkeit von 15 Metern hat die Wirkungsfähigkeit von $\frac{15 \, . \, 15 \, . \, 50000}{2 \, . \, 9{,}81}$ Kil.M. oder von $\frac{15 \, . \, 15 \, . \, 50000}{2 \, . \, 9{,}81 \, . \, 70}$ Pferdekräften. Wenn die Reibung auf der Eisenbahn wie gewöhnlich $\frac{1}{200}$ der Last beträgt, so ist beim Fortschaffen jener Last ein Widerstand von $\frac{50000}{200}$ oder 250 Kilogr. zu überwinden. Angenommen, die Maschine höre zu wirken auf, so vermag der Zug vermöge seiner Trägheit diesen Widerstand noch durch den Raum von x Meter zu überwinden, wenn $250\, x = \frac{15 \, . \, 15 \, . \, 50000}{2 \, . \, 9{,}81}$. Er wird also von selbst noch x oder 2295 Meter weit fortgehen, bis er zur Ruhe kommt.

§. 76.

Bis hieher wurde angenommen, die continuirliche Kraft wirke stets mit derselben Intensität auf den bewegten Körper. Nun kann aber auch die continuirliche Kraft *veränderlich* sein, wie bei einem Stein, der aus grosser Entfernung auf die Erde fällt und folglich immer stärker angezogen wird, je näher er kommt. Der *einfachste Fall einer veränderlichen fortwährenden Kraft ist der, wenn ein Körper so nach einem bestimmten Ort* (seiner Gleichgewichtslage) *hingetrieben wird, dass die Kraft, mit welcher dieses geschieht, stets dem Abstand von diesem Ort proportional ist.* Dies ist z. B. der Fall bei einer gespannten Saite, weil nach §. 32 die Kraft, mit welcher die Saite in die Gleichgewichtslage zurückzukehren sucht, dem Abstand von ihr proportional ist. Durch die Kenntniss der Gesetze von der Wirkung jener veränderlichen Kraft erhält man darum zugleich eine richtige Vorstellung von der *einfachsten Art schwin-* · *Bewegung.*

In Fig. 32 sei bei d ein schwerer Körper p, welcher in dem Abstand $dc = s$ durch die Kraft $a \, . \, s$ von d nach c getrieben wird und in jedem andern Abstand ec sei diese Kraft gleich $a \, . \, ec$ oder, wenn $de = x$ gesetzt wird, so sei die Kraft, die ihn von e nach c treibt, gleich $a \, . \, (s - x)$. Mit welcher Geschwindigkeit und in welcher Zeit wird der Körper in c ankommen? Stellt man die Kraft $a \, . \, s$ durch die Linie fd und die Kraft $a \, . \, (s - x)$ durch die Linie ge vor und eben so die bewegende Kraft an jedem Ort durch eine zu dc senkrechte Linie, so liegen die Endpunkte aller dieser Senkrechten in der Linie fc. Wenn nun die Kraft $fd = a \, . \, s$ durch den unendlich kleinen Raum di auf den Körper wirkt, so drückt $fd \, . \, di$ oder das Rechteck $dikf$ die Wirkung der Kraft $a \, . \, s$ auf ihn aus. Die Summe aller der Wirkungen, die er auf dem Weg von d bis e erfährt, oder die ganze Arbeit der veränderlichen Kraft, welche auf ihn wirkte, ist ebenso vorgestellt durch die Summe aller zwischen fd und ge liegenden kleinen Rechtecke oder durch das Trapez $degf$, also durch

Fig. 32.



$$\frac{a \, . \, s + a \, . \, (s - x)}{2} \, . \, x = \frac{a \, . \, x}{2} (2s - x).$$

Da aber die Summe dieser Wirkungen der verlangten Wirkungsfähigkeit des Körpers gleich sein muss, so ist, wenn man die Geschwindigkeit, die er in e hat, durch v bezeichnet,

$$\frac{p \, . \, v^2}{2g} = \frac{a \, . \, x}{2} (2s - x)$$

$$\text{also } v^2 = \frac{a \, . \, g}{p} \, . \, x \, (2s - x),$$

wo g die Zahl 9,81 bedeutet. Da $2s - x = be$ und $de \, . \, be = en^2$, so ist $x \, (2s - x) = en^2$, also

$$v^2 = en^2 \, . \, \frac{a \, . \, g}{p} \text{ oder}$$

$$\text{I.} \quad v = en \sqrt{\frac{a \, . \, g}{p}}.$$

Die Geschwindigkeit des von d bis c fortbewegten Körpers ist also proportional dem Sinus des Bogens dn, von welchem de der sinus versus ist.

Bezeichnet man die Zeit, in welcher der Körper den unendlich kleinen Weg eo mit dieser Geschwindigkeit durchläuft, durch t', so ist, weil man während eines so kleinen Zeitraums die Geschwindigkeit als gleichförmig betrachten kann, $t' \, . \, v = eo$, folglich $t' = \frac{eo}{v}$, oder wenn man für v den obigen Werth einführt, so ist $t' = \frac{eo}{en} \, . \, \sqrt{\frac{p}{ag}}$. Nach einer bekannten Eigenschaft des Kreises sind aber die Dreiecke cen

und mnp ähnlich, also verhält sich $pn : en = mn : cn$ und da $pn = eo$ und $cn = s$, so ist $\frac{eo}{en} = \frac{mn}{s}$ folglich auch $t' = \frac{mn}{s}\sqrt{\frac{p}{a \cdot g}}$.

Die Zeit t' ist also dem unendlich kleinen Bogen mn proportional, welcher dem Weg eo entspricht. Dasselbe gilt für alle Punkte von d bis e. Zur Bestimmung der Zeit, welche ein Körper von d bis e braucht, muss man also die Summe aller der kleinen Bogen von d bis n suchen. Nennt man jene Zeit t, so wird folglich

$$\text{II.} \quad t = \frac{dn}{s}\sqrt{\frac{p}{ag}}.$$

Diese Zeit ist also dem Bogen dn proportional, während die Geschwindigkeit dem Sinus und der Abstand ce von der Gleichgewichtslage c dem Cosinus desselben Bogens proportional ist. Um die Geschwindigkeit V des Körpers im Punkt c zu finden, darf man in I. statt en nur s setzen, dadurch wird

$$\text{III.} \quad V = s\sqrt{\frac{ag}{p}}.$$

Um die Zeit, welche der Körper von d bis c braucht, zu finden, setzt man in II. statt des Bogens dn, den Viertelskreis oder $\frac{s\pi}{2}$, dadurch wird $t = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{p}{ag}}$.

In c hat der Körper das Maximum seiner Geschwindigkeit; vermöge der Trägheit setzt er seine Bewegung in der Richtung von c nach b fort. Die veränderliche Kraft widersteht ihm nun auf dieselbe Art wie sie vorhin seine Bewegung beschleunigt hat; er muss also in derselben Zeit mit abnehmender Geschwindigkeit den Weg $cb = cd$ durchlaufen, bis er zur Ruhe kommt.

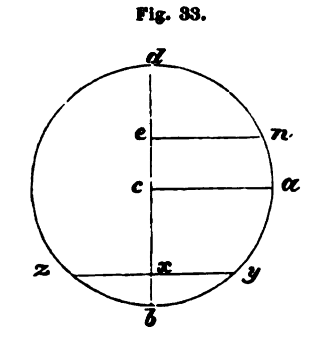
Wenn er in b angekommen ist, treibt die obige Kraft ihn nach denselben Gesetzen wieder nach c und die Trägheit nach d. Jeden solchen *Hin- und Hergang nennt man eine Schwingung.* Die Dauer derselben ist für den Raum von d bis $c = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{p}{ag}}$ gewesen; für eine ganze Schwingung beträgt also diese Zeit T 4mal so viel oder es ist

$$\text{IV.} \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{p}{ag}}.$$

Die grösste Entfernung des beweglichen Körpers von dem Punkt c wird die *Schwingungsweite* (Amplitude) genannt, seine Geschwindigkeit in c heisst die *Vibrationsintensität*, der Bewegungszustand an irgend einer Stelle heisst die dieser Stelle entsprechende *Phase*, und der Abstand dieser Stelle von c die *Elongation*.

Die Phase, Elongation und Schwingungszeit stehen nach den obigen Gesetzen in folgendem einfachen Zusammenhang: Wenn man mit der Amplitude oder Schwingungsweite cd, Fig. 33, eines auf die einfachste Art schwingenden Körpers einen Kreis beschreibt und der Radius dieses Kreises ausserdem die Vibrationsintensität vorstellt, ferner die Peripherie des Kreises die Zeitdauer T einer ganzen Schwingung ausdrückt, so kann man für irgend einen Theil der Schwingungszeit T

Fig. 33.



den eben so vielten Theil der Peripherie des Kreises, z. B. den Bogen dn setzen. Dann ist der in der Zeit dn durchlaufene Weg, wenn der Anfang von d an gerechnet wird $= de$ oder der sinus versus, die erlangte Geschwindigkeit en der Sinus, und die Elongation ce der Cosinus dieses Bogens dn. Nach der Zeit dny, welches $^4/_{10}$ der ganzen Schwingungsdauer sein mag, ist also der Körper in x, und hat die Geschwindigkeit von xy. Nach der Zeit $dnbz$ ist der Körper wieder in x, verfolgt aber die entgegengesetzte Richtung, und seine Geschwindigkeit wird darum durch xz ausgedrückt. Nach einer ganzen Schwingung, also nach der Zeit 2π, hat er die Geschwindigkeit Null; nach der Zeit $2\pi + dn$ ist die Geschwindigkeit $\sin(2\pi + dn) = \sin dn$ u. s. w.

Um obige Gesetze durch einen Versuch nachzuweisen, nahm ich einen gewöhnlichen spiralförmig gewundenen Draht (sogenannten Hosenträgerdraht), von 84 Centimeter Länge und 3 Millimeter Durchmesser, und versah ihn an beiden Enden mit Ringen. An dem einen wurde er aufgehängt, an dem andern wurde ein cylindrisches Gewicht von 120 Gr. angebracht, wodurch der Draht sich verlängerte. Als nun dazu noch 30 Gr. angehängt wurden, verlängerte er sich abermals und zwar um 4,5 Centim., und bei einer weitern Belastung mit 30 Gr. nochmals um 4,5 Centim. Die Verlängerung war also im ersten, wie im zweiten Fall für 1 Gr. $= \frac{4,5}{30} = \frac{3}{20}$ Centim., folglich ist die Verlängerung proportional dem Gewicht. Wenn also das Gewicht von 150 Gr. angehängt war, und dasselbe noch um 4,5 Centim. mit den Fingern weiter herabbewegt wurde, so suchte es im Anfang mit einer Kraft von 30 Gr. in die vorige Lage zurückzukehren. Diese Kraft nimmt aber ab in dem Verhältniss, als sich das Gewicht der Gleichgewichtslage der 150 Gr. nähert; folglich kann man, weil das Gewicht des Drahts selbst sehr unbedeutend ist, darauf obige Formel anwenden. Wenn 150 Gr. daran hängen, so wurde der Draht mit einer Kraft, die dem Gewicht von 30 Gr. entspricht, um 4,5 Centim. ausgedehnt. Hier ist also $s = 4,5$ Centim. $= 0,045$ Meter und $a \,.\, s = 30$ Gr., folglich $a = \frac{30}{0,045}$ $= 666^2/_3$. Die in Bewegung gesetzte Masse p ist 150 Gr., also die Schwingungsdauer

Fig. 34.

$$T = 2 \,.\, 3,14 \sqrt{\frac{150}{666 \,.\, 9,81}} = 0,95 \text{ Sekunden.}$$

Dieser Schwingungsdauer entsprechen in der Minute 63 Schwingungen, die der Draht auch wirklich machte. Um aus diesem Apparat einen Sekundenzähler zu machen, müsste

$$2 \,.\, 3,14 \sqrt{\frac{p}{666 \,.\, 9,81}} = 1 \text{ sein, also } p = \frac{666 \,.\, 9,81}{4 \,.\, 3,14^2} = 166.$$

Als 166 Gramm angehängt wurden, machte der Apparat in jeder Sekunde eine Schwingung. An solche elastische Drähte darf man kein zu kleines Gewicht anhängen, weil bei geringer Belastung die Ausdehnung dem Gewicht nicht proportional ist. Auch ist es zweckmässiger, dazu einen Draht zu nehmen, welcher spiralförmig, wie in Fig. 34, gewunden ist. Hierauf beruht die von mir angegebene Uhr mit vertikal schwingendem Pendel.

Bei zwei solchen Ringelpendeln verhalten sich die Schwingungszeiten T und T' wie $\sqrt{\frac{p}{a}}$ und $\sqrt{\frac{p'}{a'}}$. Es sind aber a und a' die Gewichte, welche die betreffende Spirale um die Längeneinheit verlängern würden. Sind die Schwingungszeiten

gleich, so ist $\frac{p}{a} = \frac{p'}{a'}$; beide Sätze lassen sich mit zwei verschiedenen Spiralen leicht durch Versuche nachweisen.

§. 77.

Wenn zwei oder mehrere Kräfte zugleich auf einen Körper wirken, so können wir folgende Fälle unterscheiden:

1) Wenn die Kräfte auf einen Punkt des Körpers und nach derselben Richtung wirken. Die Kraft, die ihn bewegt, ist dann offenbar die *Summe* der einzelnen Kräfte. Stellt *ab*, Fig. 35, die Richtung derselben vor, so ist auch die Wirkung auf *a* dieselbe, ob die Kräfte in x, y oder z angebracht sind, wenn *ab* eine unzerreissbare Linie ist. Den Punkt x, an welchem die Kraft angebracht ist, nennt man den *Angriffspunkt*.

Fig. 35.

2) Wenn die Kräfte gerade entgegengesetzte Richtung haben. In diesem Fall heben sie sich auf, wenn sie einander gleich sind; im Falle sie ungleich sind, kann man sich vorstellen, die grössere bestehe aus zwei Theilen, wovon der eine der entgegengesetzten Kraft gleich ist und also durch sie aufgehoben wird, der andere noch wirkende Theil also dem *Unterschied* beider entspricht.

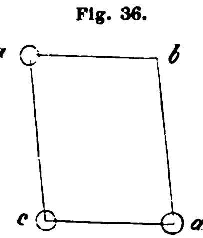
3) Wenn die Richtungen der Kräfte einen Winkel mit einander bilden oder

4) wenn sie zu einander parallel sind. Die zwei letzten Fälle werden in den folgenden Paragraphen näher untersucht werden.

§. 78.

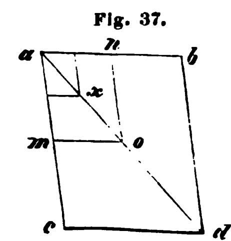
Wenn irgend zwei Kräfte *P* und *Q* auf den Körper *a*, Fig. 36, oder richtiger auf den materiellen Punkt *a* in den Richtungen *ab* und *ac* wirken, und die Kraft *Q* treibt ihn in derselben Zeit von *a* bis *c*, während ihn die Kraft *P* von *a* bis *b* bewegt, so befindet er sich am Ende dieser Zeit in dem Punkt *d*, wenn die Linien *bd* und *cd* parallel zu *ac* und *ab* gemacht wurden. Um dieses einzusehen, denke man sich durch den Körper *a* einen gespannten, gewichtslosen Faden *ab*. Während dieser nebst dem Körper durch die Kraft *Q* von *ab* nach *cd* durch den Raum *ac* bewegt wird, treibt die Kraft *P* jenen Körper vom Anfang des Fadens *a* bis an sein Ende *b*, welches sich alsdann in *d* befindet. *Der Weg*, welchen der Körper *a* durchläuft, um nach *d* zu gelangen, *ist davon abhängig*, ob die Kräfte momentan d.h. gleichkurz, constant oder veränderlich wirken.

Fig. 36.



Bezeichnen überhaupt die Linien *an* und *ab*, Fig. 37, die in den Zeiten *t* und *T* vermöge der Wirkung der Kraft *P* durchlaufenen Räume und die Linien *am* und *ac* die Wege, welche der Körper in denselben Zeiträumen *t* und *T* vermöge der Kraft *Q* durchlaufen würde, und construirt man die Parallelogramme *amon* und *acdb*, so ist

Fig. 37.



nach dem Obigen der Körper nach der Zeit t in o und nach der Zeit T in d, und er ist also durch die Punkte o und d gegangen; desshalb muss aber die Linie aod noch keine gerade sein.

Wirken die Kräfte P und Q momentan auf den Körper in a, so verhalten sich nach §. 69 die Wege wie die Zeiten, also ist:

$$t : T = an : ab$$

und

$$t : T = am : ac$$

also auch

$$an : ab = am : ac \text{ oder}$$

$$an : ab = no : bd$$

Die letzte Proportion findet aber nur statt, wenn aod eine gerade Linie ist, und in diesem Fall durchläuft also der Körper die Diagonallinie des Parallelogramms. Da zugleich die in gleichen Zeiten durchlaufenen Räume dasselbe Verhältniss haben, wie die Kräfte, so stellt auch die Linie ad die Kraft vor, welche den Körper von a nach d treibt, wenn die Kräfte P und Q durch die Seiten ab und ac vorgestellt werden.

Wenn aber die Kräfte P und Q constant wirken, so verhalten sich nach §. 72 die Wege wie die Quadrate der Zeiten, und es ist also

$$t^2 : T^2 = an : ab$$

und

$$t^2 : T^2 = am : ac$$

folglich ebenfalls

$$an : ab = am : ac$$

oder

$$an : ab = no : bd.$$

Es ist also auch in diesem Fall aod eine gerade Linie, und da auch bei constanten Wirkungen der Kräfte diese Kräfte sich verhalten, wie die in gleichen Zeiten durchlaufenen Räume, so wird der Körper a vermöge der Kräfte P und Q durch den Raum ad mit einer Kraft getrieben, die durch die Diagonallinie ad vorgestellt wird, wenn die Seitenkräfte P und Q durch die Linien ab und ac vorgestellt werden.

Haben die in der Richtung ab durchlaufenen Räume ein anderes Verhältniss, als die in gleichen Zeiten nach der Richtung ac zurückgelegten Wege, wie z. B. wenn in der einen Richtung die Wirkung der Kraft momentan, in der andern constant ist, so wird die Bahn des Körpers eine krummlinige.

Es gilt also nach dem Obigen für zwei momentan und zwei constant wirkende Kräfte folgender Satz: *Der Weg, welchen ein Körper in irgend einer Zeit vermöge zweier gleichartigen Kräfte, die nach verschiedenen Richtungen auf ihn wirken, zurücklegt, ist der Richtung und Grösse nach der Diagonallinie eines Parallelogramms gleich, dessen Seiten die Wege vorstellen, die der Körper in der nämlichen Zeit vermöge der einzelnen Kräfte vom gemeinschaftlichen Ausgangspunkt an zurücklegen würde*, und

Die resultirende Kraft zweier, auf einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt in verschiedenen Richtungen wirkender gleichartiger Kräfte ist, der Richtung und Grösse nach, durch die Diagonallinie des obigen Kräfteparallelogramms gegeben, wenn die Seiten desselben die Componenten oder Seitenkräfte vorstellen.

Denkt man sich eine der resultirenden Kraft ad, Fig. 37, gleiche und entgegengesetzte Kraft, so wird sie mit dieser, also auch mit den Seitenkräften ab und ac im Gleichgewicht sein.

Aus Fig. 37 sieht man, dass, weil ab gleich cd und der Winkel

acd das Supplement des Winkels *cab* ist, durch zwei Kräfte und das Supplement des eingeschlossenen Winkels immer ein Dreieck *acd* bestimmt wird, in welchem die dritte Seite die Grösse der Mittelkraft angibt. Bezeichnet man daher die Seitenkräfte durch P und Q und die Mittelkraft durch R, ferner den eingeschlossenen Winkel durch α, so ist

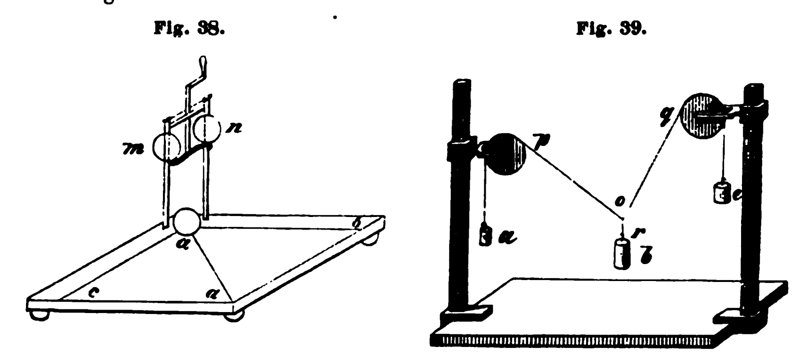
$$R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \cos. \alpha.$$

Bezeichnet man den Winkel, welchen die Mittelkraft mit P bildet, durch φ, so ist

$$\sin. \varphi = \frac{Q \sin \alpha}{R} \text{ und auch } tg\ {}^1\!/_2 (\alpha - 2\varphi) = \frac{P - Q}{P + Q}\, tg\ {}^1\!/_2\ \alpha.$$

Vermittelst dieser Formeln kann man die Grösse und Richtung der Mittelkraft aus den beiden Seitenkräften berechnen. Wenn man auf einem horizontalen Brett, Fig. 38, zwei vertikale Drähte so befestigt, dass die durchbohrte Billardkugel *m* beim Herabfallen der freiliegenden Kugel *a*, einen Stoss in der Richtung *ab* ertheilt, während die andere Kugel *n* ihr die Bewegung von *a* nach *c* mitzutheilen vermag, so bewegt sich die Kugel *a* nach der Diagonale *aa*, wenn man beide Kugeln *m* und *n* zugleich fallen lässt.

Fig. 38. Fig. 39.

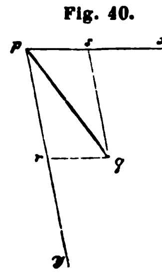


Wenn an dem in Fig. 39 abgebildeten Gestelle die Gewichte *a* und *e* mit dem Gewicht *b* im Gleichgewicht sind, so ist *or* die entgegengesetzte Richtung von der Resultirenden oder Mittelkraft, welche aus den Gewichten *a* und *e* entsteht, die nach *op* und *oq* wirken. Die Spannung der Schnüre *op* und *oq* ist gleich den Gewichten *a* und *e*, und daher gibt das Gewicht *b* auch die Grösse der aus den Seitenkräften *a* und *e* entstehenden Mittelkraft an. Mit Hülfe dieses Apparates kann man, wenn die Rollen leicht beweglich und die Schnüre nicht steif sind, den obigen Satz vom Kräfteparallelogramm für verschiedene Gewichte durch Versuche nachweisen.

§. 79.

Zur Erläuterung sehr vieler Erscheinungen ist es oft nothwendig, eine Kraft als das Resultat mehrerer Kräfte zu betrachten. In diesem Falle sagt man, die gegebene Kraft werde in andere Kräfte zerlegt. So wie man nun in Fig. 37 die Kraft *ad* als Mittelkraft von *ac* und *ab* gefunden hat, so kann man auch in Fig. 40 die Kraft *pq* in Kräfte, welche nach den Richtungen *px* und *py* wirken, zerlegen, wenn man die Linien *qr* und *qs* parallel mit *px* und *py* zieht. Die Linien *pr* und *ps* stellen alsdann die Seitenkräfte von *pq* vor.

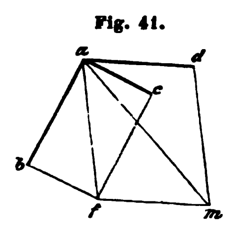
Fig. 40.



Ebenso wie man aus zwei Kräften die Resultirende gefunden hat, so kann man sie auch aus mehreren finden, indem man

immer je zwei und zwei zu einer einzigen vereinigt. So geben z. B. in Fig. 41 die Kräfte *ab* und *ac* die Mittelkraft *af*; diese mit *ad* gibt die Mittelkraft *am*, und *am* ist also die Resultirende der drei Kräfte *ab*, *ac* und *ad*. Wird aber, umgekehrt, *am* nach den Richtungen *af* und *ad* zerlegt, so werden *af* und *ad* die Seitenkräfte von *am*; und wird *af* nachher nach den Richtungen *ab* und *ac* zerlegt, so ist *am* nach den drei Richtungen in die Kräfte *ab*, *ac* und *ad* zerfällt. Man sieht leicht ein, dass, wenn diese Kräfte im Gleichgewichte sein sollen, eine der *am* gleiche, aber entgegengesetzte Kraft diese aufheben muss. Wenn der Körper *a* in 1 Sekunde durch die eine Kraft von *a* nach *b*, durch die andere nach *c*, durch die dritte nach *d* getrieben würde, so gelangt er also nach *m*. Eben so gut könnte man sagen, um nach *m* zu gelangen, kann er den Weg *am* gehen, oder erst von *a* nach *b*, dann von *b* nach *f*, und zuletzt von *f* nach *m*. Hierauf beruhen die Gesetze von der relativen Bewegung.

Fig. 41.

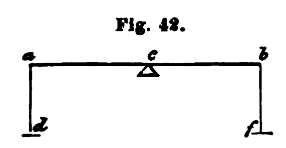


Wenn die Richtungen dreier oder mehrerer Kräfte, die auf einen Körper wirken, nicht in *einer* Ebene liegen, so zerlegt man sie in solche Richtungen, die in zwei zu einander senkrechten Ebenen liegen, und sucht alsdann die Mittelkraft der Resultirenden in den beiden Ebenen.

§. 80.

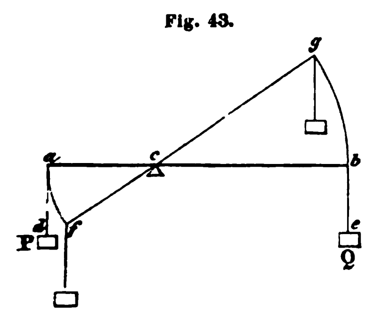
Bisher wurde vorausgesetzt, dass die wirkenden Kräfte nur *einen* Angriffspunkt haben und einen Winkel bilden. Nehmen wir nun als den einfachsten Fall an, es wirkten zwei *parallele* Kräfte auf die Endpunkte einer geraden Linie *ab*, Fig. 42, nach den zu ihr senkrechten Richtungen *ad* und *bf*, so müssen sie der Linie eine Bewegung ertheilen, wenn diese nicht in einem Punkte *c* unterstützt wird. Liegt dieser Punkt in der Mitte und sind die Kräfte einander gleich, so wird die Wirkung der einen durch die der andern völlig aufgehoben, indem beide die Linie *ab* nach entgegengesetzten Richtungen mit gleicher Kraft um den Punkt *c* zu drehen streben.

Fig. 42.



Wenn die Kräfte, welche auf die Enden der geraden Linie *ab*, Fig. 34, nach den parallelen Richtungen *ad* und *be* wirken, ungleich sind, und *c* der Punkt ist, in welchem die Linie *ab* unterstützt werden muss, damit die Kräfte, welche wir *P* und *Q* nennen wollen, sich im Gleichgewichte halten, so kann schon eine unendlich geringe Vermehrung der Kraft *P* eine Drehung der Linie *ab* um den Punkt *c* bewirken, und diese in die Lage *fg* versetzen. In diesem Fall hat die Kraft *P* den Widerstand *Q* durch den Raum *bg* überwunden, und ihre Wirkung wird darum nach §. 74 durch *Q* . *bg* ausgedrückt. Soll nun die vorige Lage wieder hergestellt werden, so muss die Kraft *Q* den Widerstand *P* durch den Raum *fa* überwinden, oder ihre Wirkung muss gleich *P* . *fa* sein. Entstehen auf diese Art kleine Schwankungen, so muss die Wirkung der einen Kraft durch die der andern stets wieder aufgehoben werden, oder sie muss ihr gleich sein. Desshalb ist für den Zustand des Gleichgewichts

Fig. 43.



$$P \cdot af = Q \cdot bg$$

oder wenn man diese Gleichung in eine Proportion verwandelt

$$P : Q = bg : af$$

da aber $bg : af = bc : ac$

so ist auch $P : Q = bc : ac$

oder $P \cdot ac = Q \cdot bc.$

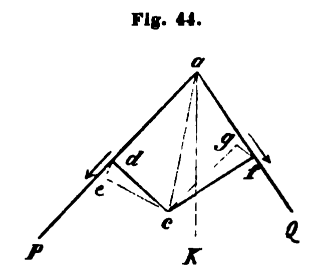
Die Linie ab heisst ein mathematischer Hebel, ac und bc heissen die Arme desselben. Man sagt daher: *Am Hebel sind die Kräfte im Gleichgewichte, wenn die Produkte derselben in ihre Entfernungen vom Unterstützungspunkte einander gleich sind.*

Aus der Gleichung $P \cdot af = Q \cdot bg$ folgt, dass $P \cdot af - Q \cdot bg = o$.

Wenn aber die Richtung von a nach f positiv genannt wird, so ist die Bewegung von b nach g negativ. Es sind also am Hebel die Kräfte im Gleichgewicht, wenn die Produkte derselben in den Weg bei einer kleinen Drehung sich aufheben.

Dieser Satz ist nur ein besonderer Fall des folgenden allgemeinen Falles. In Fig. 44 sei eine Ebene in c unterstützt und in ihr wirken die Kräfte P und Q nach den Richtungen ad und af. Fällt man von c die Senkrechten cd und cf auf die Richtungslinien dieser Kräfte, und denkt man sich es finde eine kleine Drehung um den Punkt c statt, so durchläuft der Punkt d in der Richtung der Kraft P den Weg de, während f in der Richtung, welche der Kraft Q entgegengesetzt ist, den Weg fg zurücklegt. Es hat also P den Widerstand Q durch den Weg fg und Q den Widerstand P durch den Weg de zu überwinden, oder die Wirkungen $P \cdot de$ und $Q \cdot fg$ müssen sich aufheben, um das Gleichgewicht zu erhalten. Es muss also $P \cdot de - Q \cdot fg = o$ sein. Weil $\frac{de}{gf} = \frac{cd}{cf}$, so ist auch hier $P \cdot cd = Q \cdot cf$.

Fig. 44.

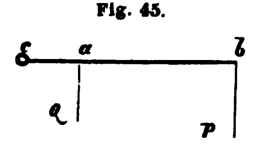


Diese Produkte der Kräfte in die Senkrechten vom Unterstützungspunkt auf ihre Richtungslinien nennt man die *statischen Momente*. Der Unterstützungspunkt c liegt in dem so eben angegebenen Fall, wo die statischen Momente einander gleich sind, in der Richtung der resultirenden Mittelkraft von P und Q. Denn wäre ac nicht in der Richtung dieser Resultirenden, so gäbe es eine andere Linie ak, die in dieser Richtung läge. Die Wirkung der Resultirenden würde aber dann nicht durch den Unterstützungspunkt c aufgehoben, sondern eine Drehung um c veranlassen.

Die weitere Untersuchung des Gleichgewichts der Kräfte an einem System von fest mit einander verbundenen Punkten führt zu folgendem höchst wichtigen allgemeinen Gesetze: ***Wenn mehrere Kräfte in einerlei Ebene fallen und im Gleichgewicht sind, so muss bei einer geringen Umdrehung des ganzen Systems um einen willkürlich angenommenen Punkt, die Summe der Produkte einer jeden Kraft in den durchlaufenen Weg gleich Null sein;*** wobei die Wege negativ genommen werden müssen, welche der Richtung der Kräfte entgegengesetzt sind. Dieser Satz wird das ***Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten*** genannt, und ist zuerst von ***Bernoulli*** gelehrt worden.

Wenn bei einem Hebel die Kräfte auf derselben Seite des Unterstützungspunktes wirken, so heisst er *einarmig*. In Fig. 45 sei c der Unterstützungspunkt und die Kraft P übe bei a den Druck Q aus, so muss eine, diesem Drucke gleiche, aber entgegengesetzte Kraft, mit P im Gleichgewichte sein, wenn $Q \cdot ac = P \cdot bc$, also $Q = \frac{P \cdot bc}{ac}$ ist. Ein solcher Hebel heisst ein *Druckhebel*. *Wurfhebel* heisst er, wenn die wirkende Kraft näher beim Unterstützungspunkte angebracht ist, als die Kraft, welche dadurch hervorgebracht wird. Wirken in

Fig. 45.



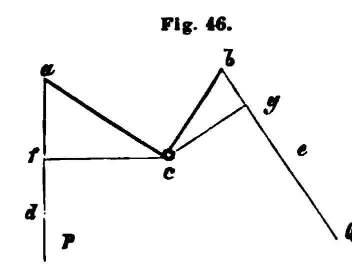


Fig. 46 zwei Kräfte P und Q auf zwei mit einander unveränderlich verbundene Stangen ac und bc, die sich um den Punkt c drehen, so hat man einen *Winkelhebel*. Ist cf senkrecht zu ad, das heisst zur Richtung der Kraft P und cg senkrecht zu be, der Richtung von Q, so ist für das Gleichgewicht $P \cdot cf = Q \cdot cg$.

Die Wirkung des Hebels wird angewendet bei Zangen, Scheeren, Bohrern, Rudern, Brecheisen, Kurbeln, Ventilen. Der menschliche Arm ist ein einarmiger Hebel. Die Thürklinke, der Klingelhaken sind Winkelhebel.

§. 81.

Betrachtet man die Linie ab (Fig. 42 Seite 61) selbst als einen unendlich dünnen, aber den Gesetzen der Schwere oder anderer, nach paralleler Richtung wirkender Kräfte unterworfenen Stab, so muss sie in der Mitte c unterstützt werden, wenn sie weder auf die eine, noch auf die andere Seite fallen soll. Dieser Punkt c hat das ganze Gewicht der Linie zu tragen, und heisst der *Schwerpunkt*, weil man sich vorstellen kann, dass durch ihn die Resultirende aller der Kräfte geht, welche durch die Schwere der einzelnen Theilchen von ab hervorgebracht werden.

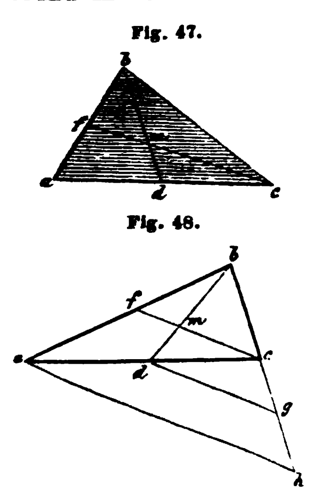
Auch die parallelen Kräfte P und Q, in Fig. 43 Seite 61, haben eine Resultirende, welche nach dem vorigen Paragraphen durch den Unterstützungspunkt c geht. Da nach §. 78 die Grösse dieser Resultirenden R durch die Gleichung $R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \cos\alpha$ bestimmt wird, und in diesem Falle der Winkel $\alpha = o$, also $\cos\alpha = 1$ ist, so wird

$$R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ$$

oder

$$R = P + Q;$$

es hat also der Unterstützungspunkt c einen Druck zu erleiden, welcher der Summe der parallelen Kräfte gleich ist. Dieser Punkt bleibt unverändert, wenn auch die Richtung der Kräfte sich ändert, insofern sie nur unter sich parallel sind. Man nennt ihn das *Centrum der parallelen Kräfte*. *Schwerpunkt* heisst er, wenn P und Q Kräfte sind, die ihren Grund in der Schwere haben, also das Gewicht der Theile vorstellen.



Zur Uebung sei noch der Schwerpunkt eines Dreiecks zu bestimmen. Um diesen zu finden, denke man sich das Dreieck abc, Fig. 47, sei durch parallele Linien in unendlich viele Linien getheilt, und die Linie bd halbire die Linie ac, so halbirt sie auch alle Streifen, welche mit ac parallel sind, und geht folglich durch den Schwerpunkt eines jeden Streifens. Der Schwerpunkt aller Streifen oder des Dreiecks muss also in der Linie bd liegen. Ebenso kann man sich vorstellen, cf halbire alle mit ab parallelen Streifen, so muss der Schwerpunkt aller, oder der Schwerpunkt des ganzen Dreiecks, auch in cf liegen. Der Schwerpunkt selbst muss also da liegen, wo sich die Linien bd und cf durchschneiden, oder im Punkte m.

In dem Dreieck abc, Fig. 48, liegt also der Schwerpunkt in m, wenn $bf = {}^1\!/_2\, ab$ und $cd = {}^1\!/_2\, ca$ ist. Macht man nun dg und ah parallel fc, so ist in dem Dreiecke bah auch $bc = {}^1\!/_2\, bh$, weil $bf = {}^1\!/_2\, ba$; und $cg = {}^1\!/_2\, ch$, weil $cd = {}^1\!/_2\, ca$; folglich ist auch $cg = {}^1\!/_2\, bc$; also $dm = {}^1\!/_2\, bm$ oder $dm = {}^1\!/_3\, bd$.

Durch ähnliche Betrachtungen findet man den

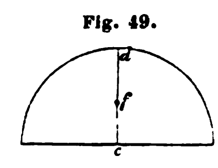


Fig. 49.

Schwerpunkt anderer Flächen und Körper. Der Schwerpunkt der halben Peripherie eines Kreises wird z. B. gefunden, wenn man in Fig. 49 $cf = \frac{2 \,.\, cd}{3{,}14}$ macht, und der einer Pyramide, indem man von dem Schwerpunkte der Grundfläche eine Linie nach der Spitze zieht, und diese in vier gleiche Theile theilt. Der erste Theilungspunkt von der Grundfläche an ist der Schwerpunkt.

§. 82.

Da der Schwerpunkt derjenige Punkt ist, welcher das ganze Gewicht jedes einzelnen Theiles zu tragen hat, wenn er allein unterstützt wird, so kann man sich auch in ihm das Gewicht des Ganzen vereinigt denken. Ein Körper, welcher gerade in seinem Schwerpunkte unterstützt ist, kann daher nach jeder Richtung bewegt werden, ohne zu fallen. Wenn aber ein Körper nicht gerade in seinem Schwerpunkte unterstützt ist, so ruht er entweder auf einer Unterstützungsfläche, oder er hängt an einer festen Schnur, oder er wird in zwei Punkten festgehalten, um die er sich drehen kann.

Im ersten Falle muss die Vertikal-Linie, welche durch seinen Schwerpunkt geht, auch durch seine Unterstützungsfläche gehen, weil ihm sonst die Schwere eine Drehung um irgend einen Punkt des Randes der Unterstützungsfläche ertheilt. In Fig. 50 seien *a* und *b* die Schwerpunkte zweier Körper, der erste wird stehen bleiben, der zweite fallen, weil sich der Schwerpunkt um *c* drehen kann.

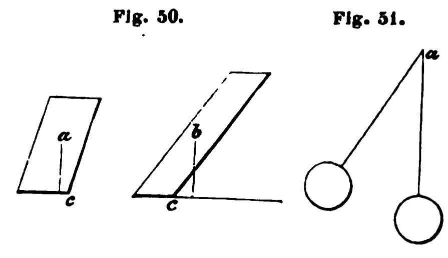


Fig. 50. Fig. 51.

Im zweiten Falle, wenn ein Körper, Fig. 51, an einem Faden aufgehängt ist, kommt dieser nicht zur Ruhe, bis der Schwerpunkt senkrecht unter dem Befestigungspunkt *a* sich befindet. Diess ist ein Mittel, seinen Schwerpunkt empirisch zu bestimmen; indem man den Körper nach einander in zwei verschiedenen Punkten aufhängt und den Durchschnittspunkt der beiden Vertikal-Linien sucht, die durch seinen Schwerpunkt gehen.

Im dritten Falle liegt der Schwerpunkt in der vertikalen Ebene, welche durch die beiden Unterstützungspunkte geht.

Wenn ein Körper durch seine Unterstützung in Ruhe bleibt, so kann das Gleichgewicht entweder ein *stabiles* oder ein *labiles* sein. Im ersten Fall kehrt er bei einer nur geringen Aenderung seiner Lage wieder in die vorige zurück, im letzten aber bewirkt jede Störung des Gleichgewichts eine Bewegung, vermöge deren er nicht wieder in die vorige Lage zurückkehrt. Ein auf der Basis stehender Kegel ist im stabilen, ein auf der Spitze stehender im labilen Gleichgewicht.

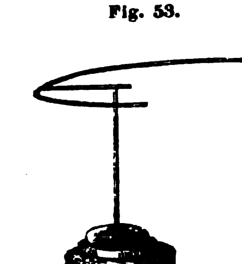
Wenn ein Körper, Fig. 52, umgeworfen werden soll, z. B. nach der Richtung *mp*, so muss sein Schwerpunkt über *cb* gebracht werden; der Körper sich also um *c* drehen. Ist nun sein Gewicht gleich *Q* und sein Schwerpunkt in *m*, ferner die Kraft, welche ihn nach *mp* umzuwerfen strebt = *P*, so muss für den Zustand des Gleichgewichts, nach

Fig. 52.

dem Frühern, $P \cdot cb = Q \cdot ac$ sein, also ist $P = \frac{Q \cdot ac}{cb}$. Wird die Kraft P um eine Kleinigkeit vermehrt, so erhält sie das Uebergewicht. Man sieht daraus, dass P um so grösser sein muss, je grösser Q, je grösser ac und je kleiner bc ist, das heisst die *Stabilität* oder der *feste Stand eines Körpers ist um so grösser, je grösser sein Gewicht, je breiter seine Grundfläche, je näher sein Schwerpunkt dem Boden und je weiter die Vertikal-Linie vom Schwerpunkte, von der Kante c ist, um die sich der Körper drehen soll.*

Auf dem Vorhergehenden beruht der festere Stand von vierfüssigen Thieren, als der von Menschen; sodann unsere Haltung beim Sitzen, Aufstehen, Gehen und Tragen; die Unmöglichkeit auf Stelzen zu stehen; die Lampe des Cardanus; das Stehen der schiefen Thürme in Pisa und Bologna etc.; das Balanciren der Seiltänzer besteht häufig auf einer beständigen Veränderung in der Lage des Schwerpunkts. Manche Spielereien, wie das Balanciren zweier Gabeln, welche an einem Hölzchen stecken; der Mann mit der Säge u. dgl. erklären sich, wenn man einen starken Eisendraht halbkreisförmig biegt und ihn wie in Fig. 53 im Schwerpunkte oder gerade darüber unterstützt, indem dieser in einem mit dem Halbkreise fest verbundenen Stäbchen liegt. Ein Cylinder muss sich bewegen, wenn sein Schwerpunkt nicht in der Mitte liegt, bis dieser lothrecht über die Berührungslinie fällt; ja er kann sogar bergan rollen, wie man an einer kreisförmigen Schachtel sieht, in deren innerem Umfange man eine Bleikugel befestigt hat. Das Berganrollen eines Doppelkegels ist nur scheinbar, weil in der That der Schwerpunkt desselben sinkt, während seine Unterstützungspunkte sich ändern. Die chinesischen Purzelmännchen erhalten ihre Bewegung durch Veränderung des Schwerpunktes.

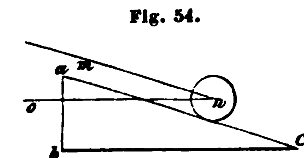
Fig. 53.



§. 83.

Wenn die Ebene, durch welche ein Körper unterstützt wird, nicht horizontal, sondern geneigt ist, so hat derselbe ein Bestreben, längs derselben zu fallen, wie die Kugel n in Fig. 54. Man kann sie zurückhalten durch Kräfte, welche nach mn oder on oder nach verschiedenen Richtungen wirken, während die schiefe Ebene ac einen Theil des Gewichtes zu tragen hat.

Fig. 54.



Drückt man durch die Vertikal-Linie pq in Fig. 55 das Gewicht eines Körpers aus, und zerlegt man pq in eine zu ac senkrechte ps und in eine damit parallele Kraft pr, so sieht man, dass ps den Druck auf ac angibt, und dass pr die Kraft ausdrückt, mit welcher der Körper längs ac hinabzugleiten strebt. Nun sind die rechtwinklichten Dreiecke abc und psq ähnlich, weil der Winkel pqs gleich dem Winkel bac ist, also verhält sich pr oder sq zu pq wie ab zu ac, *oder die relative Schwere, das heisst die Kraft, mit welcher ein Körper parallel mit der schiefen Ebene zurückgehalten*

Fig. 55.

werden muss, verhält sich zu seinem Gewichte, wie die Höhe der schiefen Ebene zu der Länge. Nennt man das absolute Gewicht des Körpers P und sein relatives Q, so ist also

$$\frac{Q}{P} = \frac{ab}{ac} = \sin c, \text{ folglich } Q = P \sin c.$$

Das Verhältniss $\frac{ab}{ac}$ nennt man auch die *Steigung.*

Wenn ein Körper in einer Richtung, welche parallel ist mit bc, Fig. 56, zurückgehalten werden soll, und man drückt sein Gewicht durch die Linie pq aus, so kann man diese Kraft pq zerlegen in eine mit bc parallele Kraft pr und in eine zu ac senkrechte Kraft ps. Dann ist das rechtwinklichte Dreieck psq ähnlich dem Dreieck abc, weil die Seiten des einen senkrecht zu den Seiten des andern sind, und es verhält sich pr oder sq zu pq wie ab zu bc, *oder die parallel mit der horizontalen Ebene wirkende Kraft verhält sich zum Gewichte des Körpers, wie die Höhe der schiefen Ebene zur horizontalen Projection derselben.*

Fig. 56.

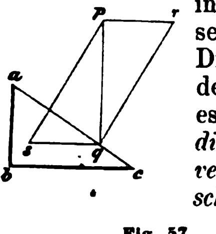
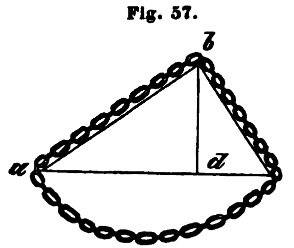


Fig. 57.



Wenn um das Dreieck abc, Fig. 57, eine Kette geschlungen wird, und z. B. $ab = 3\,bd$, während $bc = 2\,bd$ ist, so ist auch das absolute Gewicht des längeren Stücks, z. B. 6 Loth, wenn das des kürzern 4 Loth beträgt. Das relative Gewicht des längern ist aber nur der dritte Theil seines absoluten Gewichtes, weil $bd = \frac{1}{3}ab$, also nur 2 Loth, und das relative Gewicht des kürzern nur die Hälfte vom absoluten, weil $bd = \frac{1}{2}bc$, also auch nur 2 Loth; die Kette bleibt desshalb ruhig liegen, während sonst eine endlose Bewegung um das Dreieck stattfände.

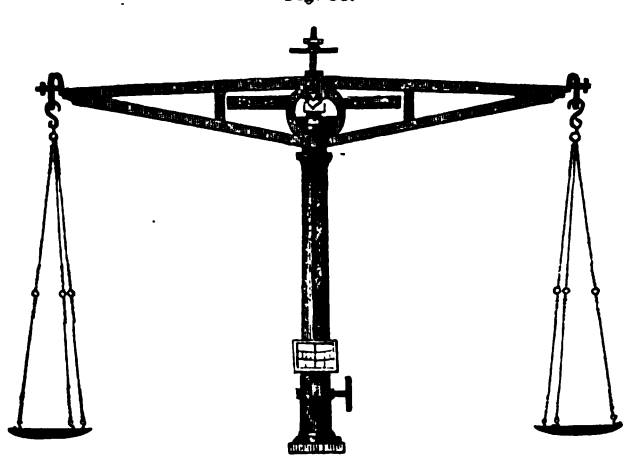
§. 84.

Auf den vorhergehenden Gesetzen beruht das Gleichgewicht der Kräfte an mehreren, für den Physiker wichtigen Apparaten, so wie an *Maschinen.* Der Zweck der letzteren ist häufig nur der, die Richtung einer Kraft in eine andere zu verwandeln; oft aber auch der, die Grösse der wirkenden Kräfte abzuändern. Niemals aber kann von einer *Vermehrung* der Quantität der Bewegung durch Maschinen die Rede sein. Man unterscheidet dabei Kraft und Last oder Kraft und Widerstand, und versteht unter der Last die Grösse des durch die Kraft überwundenen Widerstandes. Die Bewegung kann geradlinigt oder krummlinigt sein, und jede von beiden Arten kann ununterbrochen sein, oder hin und hergehen. Die Abänderung in der Grösse der wirkenden Kraft kann den Zweck haben, eine schnellere oder eine langsamere Bewegung hervorzubringen. An folgenden Beispielen sind beide Arten der Aenderung, theils getrennt, theils verbunden:

Die *Gleichwaage,* Fig. 58, besteht aus einem gleicharmigen Hebel, welcher der Waagbalken heisst, und aus zwei Schaalen zum Aufnehmen von Gewichten. Der Waagbalken ruht mittelst einer dazu senkrechten prismatischen Schneide auf einem hohlen Stahl- oder Achatcylinder. Die Waage ist um so empfindlicher, je näher der Unterstützungspunkt dem Schwerpunkte des Waagbalkens liegt; doch richtet man es so ein, dass letzterer ein wenig unter den erstern zu liegen kommt. Die



Fig. 58.



über dem Waagbalken befindliche Schraube dient dazu, den Schwerpunkt durch Ab- und Aufwärts-Schrauben eines kleinen cylindrischen Gewichtes zu senken oder zu erhöhen. Die Schaalen hängen bei bessern Waagen mittelst hohler stählerner Haken an prismatischen, nach oben gekehrten Schneiden, die an den Enden des Waagbalkens angebracht sind. Diese Schneiden kann man durch Correctionsschrauben der mittelsten Schneide genau parallel stellen, und auch ihre Entfernungen von ihr berichtigen. Ihre Verbindungslinie muss bei unbelasteten Schaalen, oder bei gleicher Belastung sich horizontal stellen und in gleicher Tiefe sein mit dem Unterstützungspunkte der mittleren Schneide. Den Zustand des Gleichgewichts bestimmt ein zum Waagbalken senkrechter Zeiger, der sich zur Bestimmung kleiner Gewichtstheile längs einer getheilten Scala bewegen kann. Denselben Zweck erreicht man auch durch einen feinen gebogenen Draht, welchen man an dem getheilten Waagbalken in verschiedenen Entfernungen aufhängen kann. Um ganz gleiche Gewichte zu erhalten, wenn auch die Arme nicht gleich lang sind, was im mathematischen Sinne nie erreicht wird, legt man das eine Gewicht in eine Schaale und in die andere Schaale so lang schwere Körper, zuletzt Schrote und Papierschnitzel, bis das Gleichgewicht vollkommen hergestellt ist. Hierauf nimmt man das erste Gewicht heraus und bringt an seine Stelle das zweite, welches so lange berichtigt werden muss, bis es ebenfalls das Gleichgewicht wieder herstellt. Damit die Haken, an denen die Schaalen hängen, sich nicht verschieben, muss sich der Waagbalken senken lassen, bis entweder die Schaalen auf dem Boden ruhen, oder er selbst von zwei Stützen getragen wird. Dieses geschieht durch den am untern Theil der Tragsäule befindlichen Griff und eine damit verbundene excentrische Scheibe. Beim Drehen derselben erhöht oder senkt sich ein in der Tragsäule verschiebbarer Metallstab, der am obern Ende einen Querstab trägt, aus welchem die beiden Stützen hervorragen. Diese Stützen dienen zugleich dazu, um die Politur der Messerschneide und der Ebene, auf der sie ruht, zu erhalten. Durch zwei ganz gleiche Gewichte bestimmt man, ob die Arme ganz gleichlang sind. Die Empfindlichkeit einer Waage drückt man durch einen Bruch aus, dessen Nenner das Gewicht ist, welches sie im höchsten Falle ohne Nachtheil tragen kann, und dessen Zähler das kleinste Gewicht ist, bei welchem sie unter der vorigen Belastung noch einen merklichen Ausschlag gibt. Man hat Waagen von *Robinson*, *Staudinger* und *Fortin*, deren Empfindlichkeit über 0,0000005 beträgt. Wenigstens 1 Sechzigtausendstel Empfindlichkeit muss jede gute Waage haben.

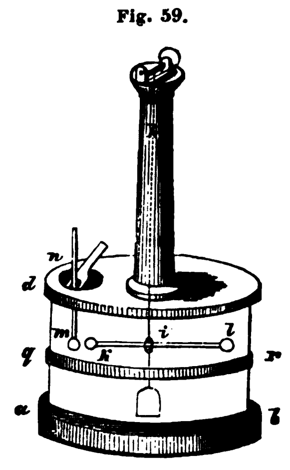
Die *Römische Waage* oder *Schnellwaage* ist ein ungleicharmiger Hebel. Die Waagschaale ruht in einer unveränderlichen Entfernung vom Unterstützungspunkte mittelst eines Hakens auf einer Schneide. Ein verschiebbares Gewicht, der Laufer, bestimmt durch seine grössere oder kleinere Entfernung vom Unterstützungspunkte die Grösse der Last. Das Gewicht des Laufers muss auf dem längern Arme angegeben sein. Die Schnellwaagen können nie die Genauigkeit haben, wie die Gleich-

5 *

waagen; noch weniger die sogenannten Brücken- und Decimalwaagen, an welchen ein zusammengesetzter Hebel angewendet ist. Zum Wägen im luftleeren oder einem andern abgeschlossenen Raume dienen die *Zeigerwaagen,* welche aus einem ungleichseitigen Winkelhebel bestehen, der um seinen Scheitel drehbar ist, und durch die Neigung, welche der längere Schenkel gegen den Horizont annimmt, das Gewicht angibt, welches an dem kürzern Schenkel hängt.

Die *Coulomb'sche Drehwaage,* Fig. 59, gründet sich auf das §. 32 angegebene Gesetz, und dient nur zum Messen kleiner Kräfte. Sie besteht aus einem sehr feinen Metalldrahte ih, gewöhnlich von Silber, der in einem gläsernen Cylinder hängt und ein horizontales Stäbchen kl, nebst einem kleinen Gewichte bei i trägt. Der Draht ist oben um ein horizontales Stäbchen gewunden, um nach Bedürfniss verlängert oder verkürzt werden zu können. Das Gestell, in welchem dieses Stäbchen sich drehen lässt, ruht auf einer kreisrunden Scheibe, welche horizontal in einem oben getheilten Ring sich drehen lässt, um durch Herumdrehen der Scheibe das Ende k des Stäbchens bald einem festen Körper m zu nähern, bald es an ihn anzudrücken, und bald es von ihm zu entfernen. Der Ring gibt an, um wie viel Grade der Draht z. B. noch gewunden worden ist, nachdem das Stäbchen kl den festen Körper m berührt hat. Die Gradeintheilung qr dient dazu, um den Gang des Stäbchens kl zu messen. Wird also m von k berührt, ohne Windung des Drahtes, und bewirkt irgend eine Kraft, die man nun einwirken lässt, eine Abstossung des k von m um 5 Grade, und eine andere Kraft eine Abstossung um 7 Grade, und muss man nun den obern Ring nach der entgegengesetzten Richtung um 12° drehen, bis k von m wieder um 5 Grade entfernt ist, so beträgt die Windung des Drahtes im zweiten Falle 17°, und es verhält sich also die erste Kraft zur zweiten, wie 5 zu 17.

Fig. 59.



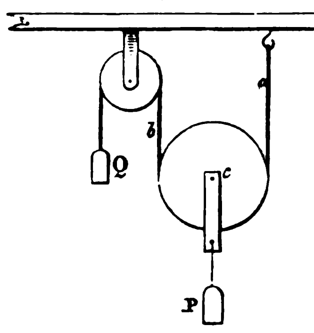
Bei den *Torsions-Waagen* von *Hooke* befestigt man den Waagbalken rechtwinklicht auf die Mitte eines an beiden Enden fest eingespannten Drahtes. Sie dienen nur zur Bestimmung sehr kleiner Gewichte. Wegen Aenderung der Temperatur, und folglich der Elastizität der Federn geben diese Waagen das Gewicht nicht zu jeder Zeit gleich an.

Die *Rolle,* Fig. 60, ist eine kreisrunde, um den Mittelpunkt c bewegliche Scheibe, die auf dem Umfange eine Rinne hat, von welcher ein Seil aufgenommen wird. Ist der Mittelpunkt fest und unterstützt, so dient die Rolle bloss um die Richtung der Bewegung abzuändern; die Gewichte P und Q müssen daher einander gleich sein, wenn keine Drehung erfolgen soll. Ist aber der Mittelpunkt c beweglich, wie in Fig. 61, und trägt er zugleich die Last P, so hat jedes der beiden Seile die Hälfte von P zu tragen. Wenn nun a oberhalb befestigt ist, so muss das Seil b, welches über eine feste Rolle geschlagen ist, mit einer Kraft gespannt werden, welche gleich $\frac{1}{2}P$ ist; daher ist hier $Q = \frac{1}{2}P$. Am *Flaschenzuge* sind 4, 6 oder mehrere Seile auf ähnliche Art verbunden, von denen also jedes mit $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{6}$ der Last gespannt wird.

Fig. 60.

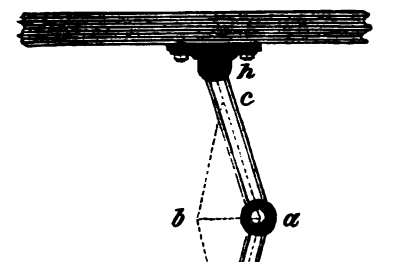


Fig. 61.



Das *Knie* ist eine Anwendung des Parallelogramms, und hier findet nicht nur eine Aenderung in der Richtung, sondern auch in der Grösse der Kraft statt. Zwei Metallstangen, ah und ad, Fig. 62, sind durch ein Gelenke bei a verbunden. Die eine stemmt sich bei h gegen eine feste Wand, die andere bei d auf einen zu pressenden Körper, z. B. einen Münzstempel. Wirkt nun nach der Richtung ab eine Kraft von der Grösse ab, so kann man diese zerlegen in ad

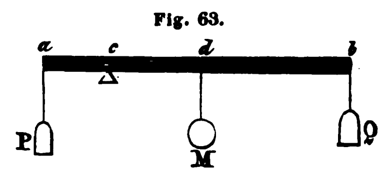
Fig. 62.



und *ac*. Die Kräfte, welche nach der Richtung beider Metallstangen wirken, sind um so grösser, je stumpfer der Winkel bei *a* wird, oder je mehr *dac* sich einer geraden Linie nähert; darum können sie einen sehr grossen Druck auf geringe Entfernungen ausüben. Hieraus beruhen *Ullhorn's* Prägmaschinen, die *Fuchs*'sche Siegelpresse und die *Amerikanische* Buchdruckerpresse.

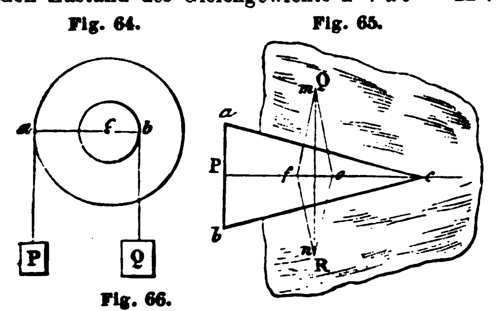
Der *physische Hebel* ist ein schwerer Stab, Fig. 63, welcher in *c* unterstützt ist. Ist *d*

Fig. 63.



sein Schwerpunkt, so kann man sich darin das ganze Gewicht des Hebels vereinigt denken. Ist dieses gleich M, so ist sein statisches Moment gleich $M \,.\, cd$, das Moment von Q ist $Q \,.\, bc$; da nun das Moment von P gleich $P \,.\, ac$ ist, so muss für den Zustand des Gleichgewichts $P \,.\, ac = M \,.\, cd + Q \,.\, bc$ sein.

Fig. 64. Fig. 65.



Das *Rad an der Welle*, Fig. 64, besteht aus einem Rade oder einer Scheibe, welche mit einem Cylinder gleichen Mittelpunkt *c* hat und an ihm fest ist. Beide können sich gemeinschaftlich um den Unterstützungspunkt *c* drehen. Da *c* zugleich der Schwerpunkt ist, so kann man diese Maschine wie einen mathematischen Hebel berechnen, und es ist daher $P \,.\, ac = Q \,.\, bc$.

Der *Keil*, Fig. 65, ist ein gleichschenkliches Prisma, welches durch einen Schlag, dessen Kraft $= P$ sei, zwischen zwei Körper getrieben wird. Die Resultirenden Q und R des Widerstands dieser Körper sind einander gleich und senkrecht zu ac und bc. Drückt man diesen Widerstand durch die Linien fm und fn aus und construirt man das Parallelogramm $mfno$, so ist die Diagonallinie fo die Kraft P, welche mit ihnen im Gleichgewicht ist. Nun ist aber das Dreieck fmo gleichschenklich, und da auch der Winkel $mfo = bac$, so ist das Dreieck fmo ähnlich dem Dreieck bac und daher

$$fm : mo : fo = ac : bc : ab \text{ oder}$$
$$Q : R : P = ac : bc : ab.$$

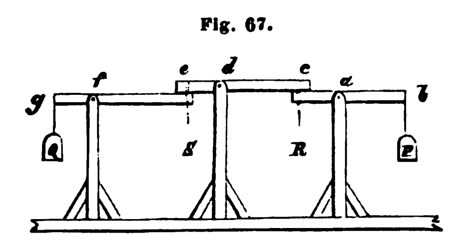
Fig. 66.

Die *Schraube* besteht aus einem Cylinder, Fig. 66, um welchen gewöhnlich senkrechte Hervorragungen laufen, die man Schraubengänge nennt; *cd* heisst die Weite eines Schraubenganges. Wenn in dem Dreiecke *mno*, *mn* die Weite eines Schraubenganges und *no* der Umfang des Cylinders ist, so bildet *mn* einen Schraubengang, wenn man das Dreieck um den Cylinder wickelt. Die Hervorragungen der Schraube passen in die Vertiefungen der Schraubenmutter *ab*. Wird nun die Schraube, während die Mutter fest ist, links herum gedreht, so wird die Last *P* gehoben. Diese Last drückt auf die schiefe

Ebene der Schraubengänge, während die Drehung, also die Kraft, parallel mit *no* wirkt. Nach §. 83 ist in diesem Falle, wenn wir die Kraft Q nennen, $P : Q = no : mn$, also ist Q so viel mal in P enthalten, als die Weite eines Schraubenganges im Umfang des Cylinders.

Zusammengesetztere Maschinen bestehen aus mehreren einfachen Theilen. In Fig. 67 sind z. B. drei Hebel, *bc*, *ce* und *eg* in den Punkten *a*, *d* und *f* unterstützt. Der erste Hebel wirkt bei *c* aufwärts, der zweite bei *e* abwärts, und also bei *g* der dritte aufwärts. Nennt man die bei *c* wirkende Kraft R und die bei *e* wirkende S, so ist:

Fig. 67.



$$P \,.\, ab = R \,.\, ac \text{ und}$$
$$R \,.\, dc = S \,.\, de,$$
$$S \,.\, fe = Q \,.\, fg,$$

folglich $P \,.\, R \,.\, S \,.\, ab \,.\, dc \,.\, fe = R \,.\, S \,.\, Q \,.\, ac \,.\, de \,.\, fg$, oder $P \,.\, ab \,.\, dc \,.\, fe = Q \,.\, ac \,.\, de \,.\, fg$. Hieraus sieht man, wie das Gleichgewicht bei andern zusammengesetzten Maschinen berechnet wird.

§. 85.

In dem §. 83 ist gezeigt worden, dass die relative Schwere eines Körpers auf der schiefen Ebene sich nach der Steigung oder dem Sinus des Neigungswinkels richtet, und also unverändert bleibt, wenn die Neigung der Ebene sich nicht ändert. Fällt daher ein Körper auf der schiefen Ebene *ac*, Fig. 68, herab, so ist die Kraft, mit welcher diess geschieht, nur ein Theil der Schwerkraft. Die Zunahme der Geschwindigkeit und das Verhältniss der Fallräume zur Fallzeit ist aber denselben Gesetzen unterworfen, wie beim freien Falle. Beträgt z. B. *ab* nur den fünften Theil von *ac*, so ist nach §. 83 die relative Schwere des Körpers nur der fünfte Theil seiner absoluten. Ein Körper fällt daher auf einer schiefen Ebene nur durch einen Raum so gross als *ab*, während er vertikal durch einen Raum so gross als *ac* fallen würde. Macht man daher die vertikale Linie *fc* so gross als *ac* und *gc* so gross als *ab*, so fällt ein Körper in derselben Zeit von *f* nach *c*, in welcher ein anderer von *g* nach *c* fällt. Diess ist der Fall, wenn der Winkel *abc*, also auch *fgc*, ein rechter Winkel ist. Ist darum in Fig. 69 auch der Winkel *fgc* ein rechter Winkel, so fällt ein Körper in derselben Zeit durch die Linie *gc*, in welcher ein anderer durch die Vertikallinie *fc* fällt; eben so braucht ein dritter eben so viel Zeit, um durch *kc* zu fallen, als ein vierter braucht, um durch *fc* zu fallen, wenn *fkc* ein rechter Winkel ist. Die Geometrie lehrt nun, dass die Scheitelpunkte aller solcher rechten Winkel wie *g* und *k* in dem Umfange eines Halbkreises liegen, und es folgt also daraus, *dass alle Körper in derselben Zeit durch die nach dem tiefsten Punkte c eines Kreises gehenden Sehnen mc, nc fallen, in welcher ein Körper durch den lothrechten Durchmesser fc dieses Kreises fällt.*

Fig. 68.

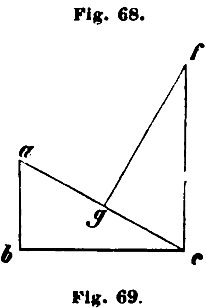
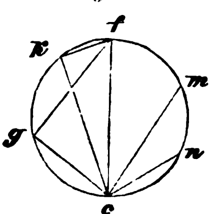


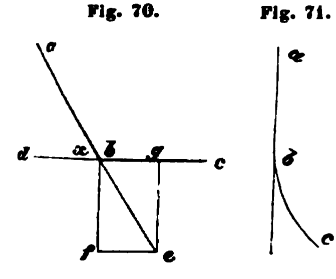
Fig. 69.

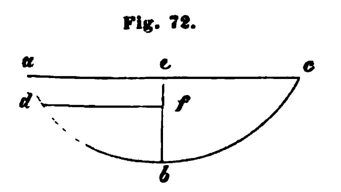


Da die beschleunigende Kraft der Schwere auf einer Ebene, deren

Neigungswinkel gegen den Horizont gleich x ist, nach §. 83 durch $g \, . \sin x$ ausgedrückt wird, so fällt in der Zeit t ein Körper auf dieser Ebene durch den Raum $s' = \frac{g}{2} \sin x \, . \, t^2$, und hat am Ende derselben die Geschwindigkeit $c = g t \sin x$. Bezeichnet s' zugleich die Länge der schiefen Ebene, so ist $s' \sin x$ ihre vertikale Höhe. Wenn nun ein Körper von der Höhe $s' \sin x$ frei herabgefallen ist, so hat er nach §. 72 die Geschwindigkeit $c = \sqrt{2 g s' \sin x}$. Setzt man in diese Formel für s' den Werth $\frac{g}{2} \, . \sin x \, . \, t^2$, so erhält man ebenfalls $c = g t \sin x$. Ein Körper erhält also durch den Fall auf der schiefen Ebene dieselbe Geschwindigkeit wie die, welche er durch den freien Fall von derselben Höhe erhalten haben würde. Diess hätte man schon daraus schliessen können, dass die Arbeit, also auch die Wirkungsfähigkeit dieselbe ist, auf welchem Wege man den Körper bis zu einer bestimmten Höhe gebracht haben mag.

Wenn ein Körper von ab, Fig. 70, herabgefallen ist und in b ein Hinderniss cd unter dem Winkel x antrifft, so wird er auf bc nicht fortgehen, ohne von seiner Geschwindigkeit zu verlieren. Drückt man die Geschwindigkeit c, die er in b hatte, durch die Linie be aus, und zerlegt man sie, nach den Senkrechten bg und bf, so ist $bg = c \cos x$ die Geschwindigkeit, welche der Körper nach der Richtung bc noch behält; während bf durch das Hinderniss aufgehoben wird. Trifft nun ein Körper in einer geradlinigten Bahn ab, Fig. 71, auf eine krumme Linie bc, von welcher ab Tangente ist, so bilden in dem Punkte b die vorige Richtung und die jetzige einen Winkel von 0 Grad, und der Körper geht also mit der Geschwindigkeit $c \, . \cos o = c$, folglich mit unverminderter Geschwindigkeit fort. Wenn daher abc, Fig. 72, eine krumme Linie ist, die sich in einer vertikalen Ebene befindet, so kann man sich vorstellen, das unendlich kleine Stück ad sei geradlinig. Da nun ein Körper, der auf der schiefen Ebene ad herabgefallen ist, dieselbe Geschwindigkeit hat, wie der, welcher von der vertikalen Höhe ef herabfiel, und bei dem Uebergange auf die krumme Linie nichts von seiner Geschwindigkeit verliert, so muss er an der tiefsten Stelle in b mit derselben Geschwindigkeit ankommen, als wäre er von der Höhe eb herabgefallen. Da beim Steigen auf der Linie bc seine Geschwindigkeit ebenso abnimmt, wie sie beim Fallen von ab zunahm, wenn beide Bogen ab und bc einander gleich sind, so muss der Körper in eben der Zeit von a nach b fallen, in der er von b nach c steigt und umgekehrt. Ist adb eine Cycloïde, so lässt sich beweisen, dass sie von allen möglichen Linien diejenige ist, auf welcher ein Körper in der kürzesten Zeit von



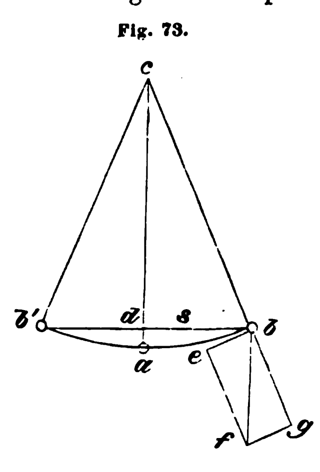


a nach b fällt. Ferner hat diese Linie die merkwürdige Eigenschaft, dass ein Körper auf ihr in derselben Zeit von d nach b fällt, in welcher er von a oder irgend einem andern Punkte derselben nach b fällt. Daher hat sie auch den Namen *Tautochrone.*

§. 86.

Die Kraft, welche den Körper, wie im vorigen §. angenommen wurde, auf der krummen Bahn herabbewegt, ist eine veränderliche, weil sich in jedem Punkte derselben die Neigung der schiefen Ebene ändert. In manchen Fällen nimmt die bewegende Kraft nach dem in §. 76 angegebenen Gesetz ab, mit der Annäherung an die tiefste Stelle der Bahn. Diess ist namentlich der Fall bei dem in kleinen Bogen schwingenden *Pendel,* und es gehört dieses darum in die Klasse der auf die einfachste Art schwingenden Körper. Ist nämlich ein Gewicht a in der Fig. 73 bei c mittelst eines gewichtslosen Fadens von der Länge $ac = l$ befestigt, und bringt man es aus der Gleichgewichtslage ac in die schiefe Lage bc, so sucht es vermöge seiner Schwere wieder nach a zurückzukehren; wenn es von b bis a gefallen ist, so hat es sein Maximum von Geschwindigkeit erlangt und beschreibt auf der andern Seite einen Bogen von gleicher Grösse. Von b' fällt es auf gleiche Art wieder nach a u. s. w. Drückt man in b sein Gewicht p durch die lothrechte Linie bf aus und zerlegt man bf nach der Richtung des verlängerten Fadens bg und nach einer dazu senkrechten Richtung be, so ist bg die Kraft, mit welcher der Faden gespannt wird, und be die Kraft, mit welcher das Gewicht in b nach der Tangente der krummen Linie bewegt wird. Das Dreieck bef ist ähnlich bdc, daher $\frac{be}{bf} = \frac{bd}{bc}$ oder $\frac{be}{p} = \frac{bd}{l}$, also $be = bd \cdot \frac{p}{l}$.

Fig. 73.



Die Kraft be, welche q heissen mag, ist also um so kleiner, je mehr sich das Gewicht p dem Punkt a nähert, und da bd für sehr kleine Bogen von dem Bogen ba selbst nicht verschieden ist, so gelten für das in kleinen Bogen schwingende Pendel die in §. 76 entwickelten Gesetze. Hier ist nun

$$a \cdot s = bd \cdot \frac{p}{l}$$

und da bd die Entfernung vom Punkt a oder von dem Ort, wohin es getrieben wird, selbst ist, so muss $s = bd$, also $a = \frac{p}{l}$ sein. Nach Gleichung III. §. 76 ist also $V = bd \sqrt{\frac{g}{l}}$ und die Zeit einer ganzen Schwingung wird, wenn man in IV. §. 76 obigen Werth von a einführt, ausgedrückt durch $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

Unter der Schwingungszeit eines Pendels versteht man übrigens fast allgemein nur die Hälfte dieser Zeit. So ist z. B. ein *Sekundenpendel* ein solches, welches in 1 Sekunde eine halbe Schwingung macht. Für dieses ist $T = 1$ und folglich $\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 1$. Diese Formel zeigt, wie man aus der Länge des Sekundenpendels das g oder die Geschwindigkeit nach der ersten Sekunde finden kann. Dieses Mittel ist auch weit genauer als die Bestimmung durch die Grösse des Fallraums. In Paris hat man z. B. die Länge des Sekundenpendels gleich 0,9937 Meter gefunden. Es ist also $\pi \, . \sqrt{\frac{0{,}9937}{g}} = 1$ oder $g = \pi^2 \, . \, 0{,}9937 = 9{,}81$ Meter. Für zwei verschiedene Pendel von der Länge l und l' und die Schwingungszeiten t und t' ist nach Obigem $t : t' = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} : 2\pi \sqrt{\frac{l'}{g}}$ oder $t : t' = \sqrt{l} : \sqrt{l'}$, d. h. die *Schwingungszeiten verhalten sich wie die Quadratwurzeln der Pendellängen*. Je länger die Schwingungszeit, desto weniger Schwingungen gehen auf eine bestimmte Zeit, und die von zwei Pendeln in gleichen Zeiten erhaltenen Schwingungszahlen n und n' verhalten sich dann umgekehrt wie die Schwingungszeiten, oder umgekehrt wie die Quadratwurzeln der Pendellängen. Es ist also

$$n : n' = t' : t \text{ oder } n : n' = \sqrt{l'} : \sqrt{l}.$$

Diess gilt jedoch nur für eine und dieselbe Anziehungskraft. Soll man aber das Verhältniss der Schwingungszeiten für verschiedene Anziehungskräfte, welche durch g und g' vorgestellt werden, finden, so hat man

$$t : t' = \sqrt{\frac{l}{g}} : \sqrt{\frac{l'}{g'}}$$

$$\text{und also } n' : n = \sqrt{\frac{l}{g}} : \sqrt{\frac{l'}{g'}}.$$

Wird bei verschiedenen Anziehungskräften aber dasselbe Pendel gebraucht, so ist $l = l'$, also $n' : n = \sqrt{\frac{l}{g}} : \sqrt{\frac{l}{g'}}$ oder $n_,^2 : n^2 = g_, : g$.

Daraus folgt, *dass die Quadrate der in gleichen Zeiten mit demselben Pendel erhaltenen Schwingungszahlen sich verhalten wie die wirkenden Kräfte*. Die Schwingungszahlen sind darum ein vortreffliches Mittel, das Verhältniss continuirlicher Kräfte zu finden.

Fig. 74.

Die Bestätigung der Pendelgesetze durch die Erfahrung weist man nach, indem man Bleikugeln an Fäden von verschiedener Länge, wie in Fig. 74, aufhängt und schwingen lässt. Auf ähnliche Art hat sie der grosse *Galilëi* durch Versuche entdeckt. In der Folge fand *Richer*, dass ein Sekundenpendel, welches er von Paris nach Cayenne mitbrachte, dort zu langsam ging. *Newton* schloss daraus, dass, weil die Verminderung der Schwere durch die Schwungbewegung nicht gross genug ist, die Erde unter dem Aequator einen grösseren Durchmesser haben müsse als an den Polen, da nach dem von ihm entdeckten Gravitationsgesetze, §. 16, die Anziehung also die Beschleunigung des Pendels, mit dem Quadrate der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde abnimmt. In der That fand man durch spätere genaue Messungen der Erde, dass ihre Achse um $^1/_{300}$ kleiner ist als ihr Durchmesser unter

dem Aequator. Desshalb und wegen der Centrifugalkraft ändert sich auch mit der geographischen Breite φ die Länge des Sekundenpendels, in Metermaass nach der Formel $l = 0{,}99102557 + 0{,}00507188 \,.\, \sin.^2 \varphi$. Diess gibt für die Breite von $50^1/_2$ Gr. und auf die Meeresfläche reducirt 0,994 M. Das mathematische und das in §. 76 beschriebene Ringel-Pendel schwingen gleichschnell, wenn $2\pi \sqrt{\frac{2}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{p}{ag}}$ wenn also $l = \frac{p}{a}$ oder wenn man $l = \frac{p}{a}$ Meter macht. Wie Versuche leicht zeigen.

Die Richtung des Pendels auf der Oberfläche des Meeres ist die Folge der Anziehungskraft aller einzelnen Theile der Erde. Erhöbe sich zur Seite dieses Pendels plötzlich eine bedeutende Gebirgsmasse, so müsste es nach dieser hin eine Ablenkung erfahren. Aus der Grösse dieser Ablenkung und der Masse des Gebirges könnte man auf die Masse der Erde schliessen. Dasselbe wird der Fall sein, wenn in der Nähe eines Berges die Richtung eines Pendels mit der Richtung verglichen wird, die lothrecht zu der gleichförmig gerundeten Erdoberfläche gedacht werden kann. *Bouguer* und besonders *Maskelyne* haben solche Vergleichungen angestellt. Der Letztere fand in der Nähe des Berges Shehallien in Schottland die Ablenkung des Pendels gleich 54 Sekunden, und berechnete daraus, dass die Dichte der Erdmasse ohngefähr 4,56mal so gross sei als die des Wassers. Nach *Reich's* neuern Untersuchungen beträgt sie 5,58 und nach den neuesten von *Airy* noch mehr.

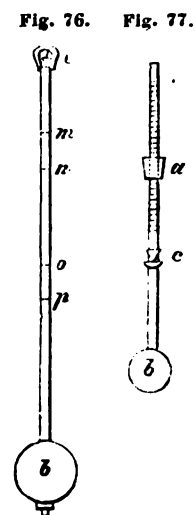
Fig. 75.

Wenn man eine Bleikugel an einem Faden aufhängt und ihr in der schiefen Lage, Fig. 75, einen horizontalen Stoss in der zu ac senkrechten Richtung ertheilt, so beschreibt sie eine Ellipse oder einen Kreis in derselben Zeit, in der sie eine Pendelschwingung macht. Hierauf beruht das sogenannte *Centrifugalpendel.*

§. 87.

Bis hieher wurde angenommen, das Pendel bestünde aus einer gewichtslosen Linie und einem daran befestigten Körper. Nimmt man aber an, die Stange cb, Fig. 76, welche eine gewisse Dicke hat, schwinge um den Punkt c, so wird das schwere Theilchen mn schnellere Schwingungen zu machen suchen, als das Theilchen op, weil es gleichsam ein kürzeres Pendel vorstellt. Die näher bei c befindlichen Theilchen werden also die entfernteren beschleunigen, und darum müssen für dieselbe Schwingungsdauer die *physischen* Pendel länger gemacht werden als die mathematischen. Trägt man die Länge eines gleichzeitig schwingenden mathematischen Pendels vom Aufhängungspunkte an auf das physische, so erhält man den *Schwingungsmittelpunkt* des letztern.

Fig. 76. Fig. 77.

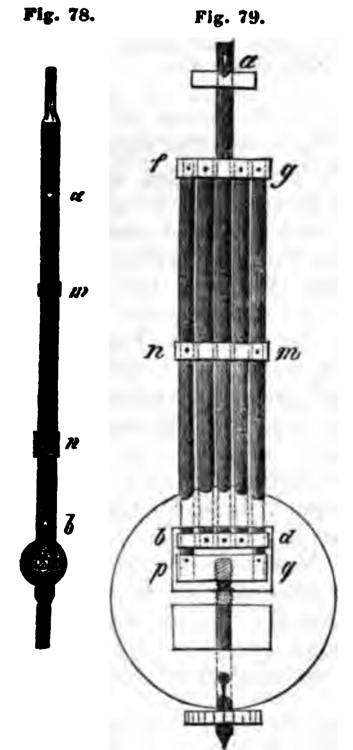


Wenn der Unterstützungspunkt c, um welchen sich das Pendel dreht, nicht am Ende, sondern, wie in Fig. 77. an einer andern Stelle angebracht ist, so kann, während der Schwingung desselben, das Ende b nicht im Bogen herabfallen, ohne dass das andere Ende a gehoben wird. Die Geschwindigkeit eines solchen Pendels wird daher verzögert und um so geringer, je näher c dem Mittelpunkte der Schwere

les ganzen Pendels rückt. Hierauf gründet sich das *Metronom* oder der nusikalische Taktmesser.

Wenn man an einem Pendel, Fig. 78, zwei Schneiden *a* und *b* so ınbringt, dass es gleichviele Schwingungen macht, wenn es in *a* oder in umgekehrter Lage in *b* unterstützt wird, so ist *a b* die Länge des gleich schwingenden mathematischen Pendels. Die verschiebbaren Laufgewichte *m* und *n* dienen dazu, die Schwingungsmittelpunkte zu verändern und sie genau nach *a* und *b* zu verlegen. Ein solches Pendel heisst *Reversionspendel*, und dient dazu, die Länge des Sekundenpendels zu finden.

Fig. 78. Fig. 79.



Da die Wärme die Pendelstange ausdehnt, so können Pendel nicht zu jeder Zeit mit gleicher Geschwindigkeit schwingen, wenn die Einwirkung der Temperatur nicht aufgehoben wird. Durch Pendelstangen, welche aus sehr trockenem, in Oel gesottenem Holze bestehen, begegnet man ihr nur unvollkommen; besser durch die Compensation, welche sich auf die ungleichförmige Ausdehnung der Metalle gründet.

Bei dem *Rostpendel*, Fig. 79, wird auf folgende Art bewirkt, dass die Mitte der Linse bei jeder Temperatur gleichen Abstand von dem Unterstützungspunkt *a* hat. Die mittlere Pendelstange *a* ist von Stahl, geht frei durch ein Loch des metallenen Querstücks *fg* und ebenso durch das Querstück *nm*. Unten ist sie an dem Querstück *bd* befestigt. Rechts und links von dieser Stahlstange sind auf dem nämlichen Stück *bd* zwei Zinkstangen befestigt, die ebenfalls frei durch das Querstück *nm* gehen und oben das Stück *fg* tragen, an dem sie befestigt sind. An das obere Stück *fg* sind endlich auch die Stahlstäbe *fp* und *gq* befestigt, welche unten das Querstück *pq* tragen. In dieses ist die Mutter einer Schraube eingelassen, deren Kopf die ganze Linse trägt. Diese Linse kann ohne Hinderniss gehoben und gesenkt werden, und die Theilung an dem Kopf der Schraube gibt die Grösse ihrer Verschiebung bei der Regulirung an. Durch den Einfluss der Wärme wird die mittlere Stahlstange verlängert, dadurch geht *bd* herab; die Zinkstangen dehnen sich aber fast dreimal so stark aus als der Stahl, es wird also das Querstück *fg* gehoben und damit die beiden Stahlstäbe *fp* und *gq*. Bei exacter Compensation muss die Summe der Ausdehnungen des mittlern Stahlstabs, des Stabs *fp* oder *gq* und der Schraube, gleich sein der Ausdehnung von einem der Zinkstäbe. Bei andern Pendeln ist statt der Linse ein cylindrisches Gefäss mit Quecksilber angebracht, wie in Fig. 80. Das Quecksilber kann sich so viel aufwärts ausdehnen, dass der Mittelpunkt des Schwunges dadurch um eben so viel erhöht wird, als er sich durch die Ausdehnung der Stange senkt. Eine andere Art der Compensation beruht auf dem Prinzip von *Martin*. Wenn man nämlich ein

Fig. 80. Fig. 81.

gerades Messingstäbchen und ein Eisenstäbchen von gleicher Länge in vielen Punkten an einander nietet, so muss diese Verbindung bei zunehmender Temperatur krumm werden, und zwar auf der Seite des Eisens eine concave Fläche erhalten, weil sich das Messing mehr ausdehnt als das Eisen. Befestigt man nun einen solchen zusammengesetzten Streifen, wie in Fig. 81, senkrecht auf die Pendelstange und das weniger sich ausdehnende Metall nach oben, so werden kleine Gewichte, die sich am Ende desselben befinden, durch die Krümmung bei zunehmender Wärme gehoben und also die Entfernung des Schwingungspunktes, der durch die Ausdehnung der Stange sich senkte, unverändert erhalten werden können.

§. 88.

Bei dem mathematischen Pendel und in mehreren andern Fällen wurde angenommen, dass die ganze Masse des bewegten Körpers in einem einzigen Punkte vereinigt sei. Diese Voraussetzung ist nicht immer zulässig und es entsteht alsdann die Frage, welche Masse statt der einzelnen bewegten Massen in einem gewissen Punkte vereinigt gedacht werden müsse, um die daselbst stattfindende Wirkung bei gegebener Geschwindigkeit desselben hervorzubringen, oder wie gross die Wirkungsfähigkeit des Ganzen in diesem Punkte ist. Ist z. B. ab, Fig. 82, eine gewichtlose, unbiegsame Stange, an welcher in b eine Masse m dieselbe Wirkung bei der Geschwindigkeit c hervorbringen soll, als in d bei gleicher Winkelgeschwindigkeit die Geschwindigkeit $c_,$ einer Masse $m_,$ so muss $mc^2 = m_, c_,^2$ sein. Da aber für diesen Fall $c : c_, = ab : ad$ oder $c : c_, = r : r_,$, wenn durch r der Abstand vom Drehungspunkt bezeichnet wird, so ist

Fig. 82.

$$mr^2 = m_, r_,^2.$$

Es müssen also die *Produkte der Massen in die Quadrate der Entfernungen vom Drehungspunkt einander gleich sein*, wenn die Winkelgeschwindigkeit stets dieselbe bleiben soll. Dieses Produkt mr^2 nennt man das *Trägheitsmoment* der Masse m. Massen, deren Trägheitsmomente einander gleich sind, können sich also ersetzen.

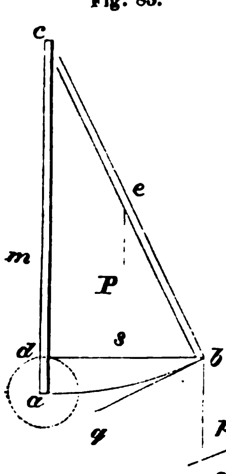


Fig. 83.

Hieraus ergeben sich die Gesetze für das physische Pendel, wenn es als ein dünner cylindrischer Stab betrachtet wird. Es sei z. B. die Länge $cb = l$, Fig. 83, und ihr Gewicht $= P$. Denkt man sich die Länge l sei in n unendlich kleine Stücke von der Länge $\frac{l}{n}$ getheilt, so ist das Trägheitsmoment des obersten oder ersten Stücks $= \frac{P}{n} \cdot \frac{l^2}{n^2}$, das des zweiten $= \frac{P}{n} \cdot \frac{2^2 \cdot l^2}{n^2}$ u. s. w. Also das Trägheitsmoment der ganzen Stange

$$= \frac{P}{n} \cdot \frac{l^2}{n^2} \left(1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 \ldots\ldots + n^2\right).$$

Die Summe der in Klammer befindlichen Glieder ist aber nur $= \frac{n^3}{3}$, folglich *ist das Trägheitsmoment des Ganzen* $= \frac{P \cdot l^2}{3}$. Die Masse, welche in b vereinigt sein müsste, um die ganze Wirkung der Pendelstange auszudrücken, wäre also nur $\frac{P}{3}$. Verlegt man die Wirkung derselben in den Schwerpunkt der Stange nach e und nennt man die Masse, welche das $\frac{P}{3}$ dort ersetzt $= x$, so muss $x \cdot \frac{l^2}{4}$

$= \frac{P}{3} \cdot l^2$ sein. Es ist also $x = \frac{4}{3} P$. Diese Masse wird nur durch das Gewicht P in Bewegung gesetzt; daher ist die beschleunigende Wirkung der Schwere nur $\frac{3}{4}\,g$. Der Abstand dieser Masse ist nur $\frac{l}{2}$ und daher nach §. 87 die Schwingungsdauer

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{{}^1\!/_2\, l}{{}^3\!/_4\, g}} = 2\pi \sqrt{\frac{{}^2\!/_3\, l}{g}}$$

also schwingt eine gleichförmig dicke Pendelstange wie ein einfaches Pendel, dessen Länge $^2/_3$ ihrer eigenen Länge beträgt. Macht man in Fig. 83 $cm = {}^2/_3\, l$, so heisst m der *Schwingungsmittelpunkt*, weil, wenn das Pendel mit diesem Punkt auf einen Widerstand trifft, seine Bewegung ganz aufgehoben wird, während an jedem andern Punkt als m noch eine Drehung der Enden a und c nach entgegengesetzten Richtungen erfolgt.

Aus dem Obigen lässt sich nun auch leicht das Trägheitsmoment eines dünnen Stäbchens, welches sich um seine Mitte dreht, berechnen; denn ist die Länge desselben $= l$ und das Gewicht $= P$, das Trägheitsmoment jeder Hälfte $= \frac{1}{3} \cdot \frac{P}{2} \cdot \frac{l^2}{4}$, folglich das des Ganzen $= \frac{2}{3} \cdot \frac{P}{2} \cdot \frac{l^2}{4} = \frac{Pl^2}{12}$. Das Trägheitsmoment eines rectangulären, um eine durch die Mitte gehende senkrechte Achse sich drehenden Stäbchens, dessen Länge $= l$, Gewicht $= P$ und Breite in der zur Drehungsachse senkrechten Richtung $= b$ ist, wird durch die Formel $T = \frac{l^2 + b^2}{12} \cdot P$ gefunden. So ist auch das Trägheitsmoment einer kreisförmigen Scheibe $T = {}^1\!/_2\, PR^2$.

Da es bei vielen physikalischen Untersuchungen nur auf das Verhältniss verschiedener Zeiträume ankommt, und nicht auf ihre absolute Dauer, so kann man sich oft zu solchen Zeitmessungen eines durch eine Bleikugel gespannten Fadens bedienen. Um genau die Schwingungszeit eines Pendels nach dem Gange eines andern zu messen, gibt *Borda* an, man solle die Linsen durchbohren, und die Zeit beobachten, welche zwischen zwei Coïncidenzen der beiden Pendel und einem Punkte an der dahinter befindlichen Wand verfliesst.

Zu einfachen Pendelstangen ist das Holz am besten, weil es sich durch die Wärme in der Richtung der Fasern am wenigsten ausdehnt; dagegen ist der Einfluss der Feuchtigkeit bedeutend. Diesem kann man jedoch dadurch begegnen, dass man es vollkommen gut trocknet und nachher firnisst oder vergoldet. *Kater* und *Baily* geben ein gutes Pendel an, welches aus einer Holzstange besteht, die in den Boden eines Zink- oder Bleicylinders eingeschraubt ist.

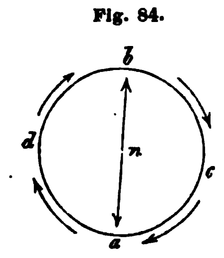
Ehe *Galilëi* und *Huyghens* die Anwendung des Pendels zur Regulirung der Uhren lehrten, hatte man kein genaues Maass der Zeit. *Graham* und nach ihm *Harrison* verfertigten die ersten Rostpendel. *Troughton* gab diesen durch Röhren eine compendiösere Form. Jetzt verfertigt man Pendeluhren von bewunderungswürdig gleichförmigem Gange. Die Pendeluhr von *Breguet* auf der Altonaer Sternwarte z. B. gab in fünf Jahren nur eine Abweichung von 1 Sekunde im täglichen Gange.

§. 89.

Das Pendel ist für den Physiker eines der wichtigsten Instrumente. *Bouguer* und *Condamine* wiesen z. B. die Gravitationsgesetze *Newtons* nach, indem sie fanden, dass Pendel auf hohen Bergen langsamer schwingen als am Meere; ferner zeigt das Pendel, dass alle Stoffe gleichstark von der Erde angezogen werden, indem Pendel aus den verschiedensten Metallen bei gleicher Länge gleiche Geschwindigkeit haben.

Das Pendel ist aber in neuerer Zeit durch *Foucault* auch ein Mittel geworden, die Achsendrehung unserer Erde nachzuweisen, wozu eine nähere Betrachtung des Trägheitsgesetzes führt. Denkt man sich, es sei ein Pendel über dem Nordpol der Erde in n, Fig. 84, aufgehängt

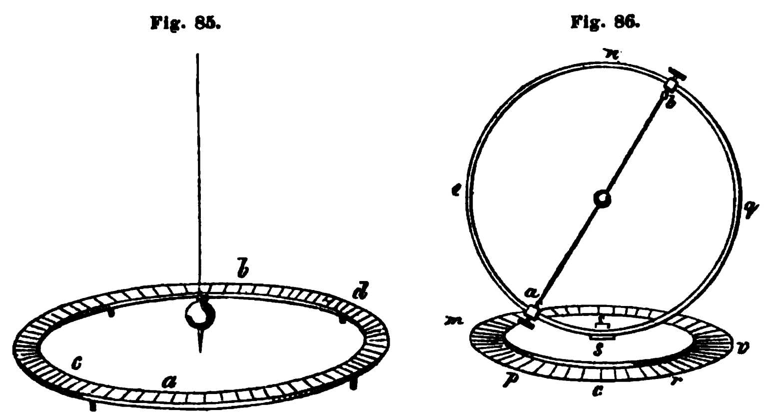
Fig. 84.



und schwinge von *a* nach *b* und zurück, so ist kein Grund vorhanden, warum es an der Drehung der Erde, die in der den Pfeilen entgegengesetzten Richtung erfolgt, Antheil nehmen sollte. Zwei Personen, welche dasselbe anfangs in *a* und *b* beobachten, werden nach sechs Stunden, vermöge der Drehung der Erde, in *c* und *d* stehen und desshalb nun in senkrechter Richtung auf die Schwingungsebene des Pendels sehen. Indem sie von der Drehung der Erde nichts fühlen und alle Gegenstände sich mit ihnen drehen, werden sie glauben, die Schwingungsebene des Pendels habe sich in der Richtung der Pfeile um 90° gedreht. Die Schwingungsebene scheint sich darum in der Richtung der Sonne zu drehen. Unter einer andern geographischen Breite ist die scheinbare Drehung der Schwingungsebene des Pendels nicht wie am Pol gleichgross wie die Drehung der Erde, sondern das Produkt aus dieser Drehung in den Sinus der geographischen Breite. Dieser ist z. B. für $48\frac{1}{2}{}^0$ Breite $= \frac{3}{4}$. Während sich nun die Erde in 1 Stunde um 15° dreht, beträgt in dieser Breite die scheinbare Drehung der Schwingungsebene nur $\frac{3}{4} \cdot 15$ oder $11\frac{1}{4}{}^0$, wie sich durch Versuche nachweisen lässt.

Man befestigt an einer festen Decke, die 50 und mehr Fuss hoch ist, einen Draht so in einer Klemme, dass er von allen Seiten gleichstark gedrückt wird und hängt daran eine genau abgedrehte bleierne Kugel von 30—40 Pfd. Gewicht so auf, wie in Fig. 85, dass der vertikale Draht genau durch ihren Schwerpunkt geht. Lässt man nun das Pendel von *a* nach *b* schwingen, so geben die auf den getheilten kreisförmigen Brettchen befindlichen Striche bald an, dass die Ebene der Pendelschwingungen sich von *a* nach *c* und von *b* nach *d* dreht. Man kann auch auf eines der Brettchen ein der Länge desselben paralleles Häufchen feuchten Sandes aufschichten, so dass es von der am untern Theil der Kugel befindlichen Spitze getroffen wird; dann sieht man, wie dieser Sand allmählig in der Richtung von *b* nach *d* abgeworfen wird.

Fig. 85. Fig. 86.



Um ohne mathematischen Beweis das obige Gesetz zu begründen, bediene ich mich folgender Vorrichtung, Fig. 86. Ein Reif von Holz oder Eisen *nqse* ist auf einem kreisförmigen Brettchen vertikal befestigt. Dieses ist getheilt und steht auf einem Tisch mit einer getheilten Scheibe. *a* und *b* sind Hülsen von Metall, die sich

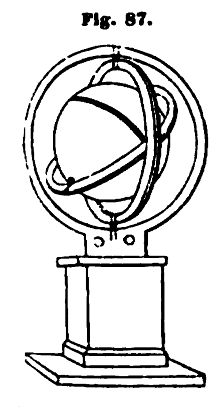
auf dem Reif verschieben lassen und diametral einander gegenüber gestellt, durch Schräubchen festgemacht werden. In diese Hülsen ist ein gespannter Hosenträgerdraht *ab* befestigt, auf dessen Mitte ein Kügelchen von Holz steckt. Dieses schwingt in einer Ebene hin und her, wenn man es mit dem Draht aus seiner Gleichgewichtslage gebracht hat und loslässt. Dreht man nun den Reif um die Linie *ns*, so stellt diese Linie die Erdachse, *eq* ihren Aequator und die Mitte der Kugel ihr Centrum vor. Das kleine Kügelchen schwingt, in gleicher Ebene wie jeder Theil des Drahtes, und die Spannung des Drahtes vertritt die Stelle der Schwere.

Befestigt man den Draht in *n* und *s*, so bilden, wie im ersten Fall, die Schwingungen mit der Ebene des Reifes einen Winkel von 90°, wenn man den Reif auf dem Papier um 90° gedreht hat. Befestigt man ihn aber in *a* und *b* und macht man den Bogen $bq = ea = 30^0$, so ist der Sinus $30^0 = \frac{1}{2}$. Lässt man nun den Draht in der Ebene des Reifes schwingen, und dreht man den letztern auf dem Papier um 180°, so werden die Schwingungen zur Ebene des Reifes senkrecht oder bilden nur einen Winkel von $\frac{1}{2} \cdot 180^0$.

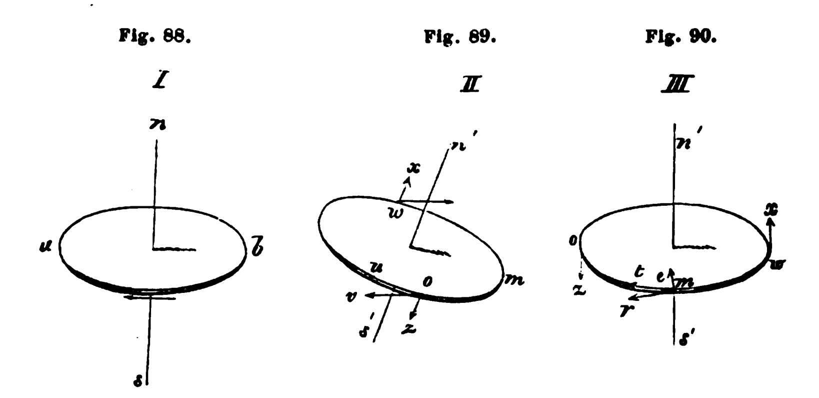
§. 90.

So wie der *Foucault'sche* Pendelversuch sich auf das Gesetz des Beharrens gründet, so beruht auch das Beharren der Achse des tanzenden Kreisels in der Lage, welche sie vom Anfang der Drehung an erhalten hat, darauf, dass jedes Atom des Kreisels seine Bewegung in der Richtung fortzusetzen sucht, die ihm einmal mitgetheilt ist, während es durch den Zusammenhang seiner Theile an der Entfernung von der Mitte gehindert ist. Am einfachsten zeigt man diess mit Hülfe eines mehrere Pfunde schweren metallenen Kreisels, der sich um eine Stahlspitze auf dem Boden eines Glases dreht. Welche Lage man auch dem letztern geben mag, die Achse des Kreisels ändert die ihrige nicht. Demselben Gesetze ist auch die Achse unserer Erde unterworfen, welches man am besten mit *Bohnenbergers* Maschinchen, Fig. 87, zeigt. Dort ist eine Kugel durch drei Achsen, welche in eben so viel Ringen liegen, so befestigt, dass sie jede Bewegung annehmen kann, als wenn sie frei im Raume schwebte. Ertheilt man ihr nun mittelst eines um die Achse der Kugel gebundenen Fadens eine schnelle Drehung um dieselbe, so bleibt die Lage dieser Achse bei jeder veränderten Stellung des Maschinchens ihrer ursprünglichen Lage parallel, so lange die Drehung fortdauert. Darauf beruht die fixe Richtung der Erdachse nach dem Polarsterne und die Veränderung der Jahreszeiten. Wenn man die Lage dieser Achse ändern will, indem man an dem einen Pole ein Gewicht anbringt, so bewegen sich die Pole nach einer der Umdrehung der Kugel entgegengesetzten Richtung, und zwar um so langsamer, je schneller diese Achsendrehung ist. Hierauf beruht die *Präcession* oder das Vorrücken der Nachtgleichen, welches jährlich 50″ beträgt.

Fig. 87.



Näheren Aufschluss über diesen in neuerer Zeit viel besprochenen Gegenstand erhält man durch Nachstehendes: Sucht eine Kraft die Scheibe *ab*, Fig. 88, welche sich in der Richtung des Pfeiles um die Achse *ns* dreht, in der Ebene des Papiers in die Lage *n's'*, Fig. 89, zu bringen, so strebt doch das Atom *o*, seine Bewegung nach der Richtung *ov* fortzusetzen; da es aber nur in der Richtung *ou* sich drehen kann, so muss man, um den Erfolg zu finden, seine alte Wirkungsfähigkeit in

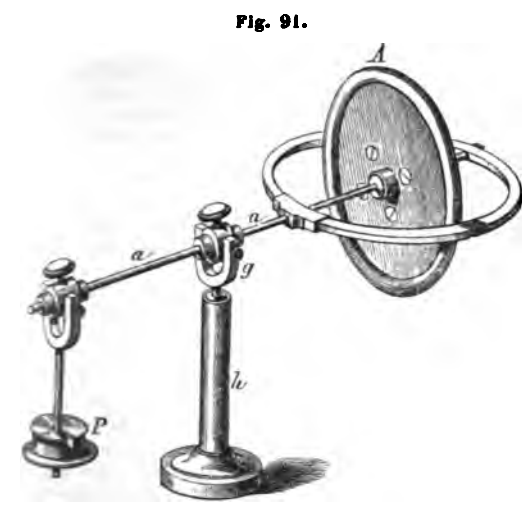


horizontaler Richtung oder *ov* nach *ou* und in eine dazu senkrechte Richtung *oz*, die mit *ou* und *ov* in gleicher Ebene liegt, zerlegen. Man sieht daraus, dass mit der Neigung der Achse eine mit ihr parallele Wirkung von *o* nach *z*, die also *abwärts* wirkt, auftritt. Auf gleiche Art tritt in demselben Augenblick auf der diametral gegenüberliegenden Stelle in *w* eine *aufwärts* gehende Wirkung *wx* hervor. Beide Kräfte *oz* und *wx* vereint suchen eine um 90° von ihnen entfernte Stelle *m*, an welcher der Rand der Scheibe horizontal ist, in schiefe Lage zu bringen, wie man leichter einsieht, wenn man sich vorstellt, man betrachte die obige Scheibe von der rechten Seite, also von daher, wo *m* liegt. Die Scheibe mit den vorigen Linien und Buchstaben wird dann wie Fig. 90 aussehen. Nun soll durch die Kräfte *oz* und *wx* die Richtung der Bewegung von *m* nach *t* in die von *m* nach *r* verwandelt werden; also wird wie oben eine Kraft *me* auftreten, die senkrecht zu *mr* ist und in *m* aufwärts wirkt. Diese sucht die Scheibe wieder in ihre vorige Lage *ns*, Fig. 88, zurückzubringen. Das Gleiche geschieht an einem dem *m* diametral liegenden Punkte dadurch, dass dort eine Wirkung auftritt, die abwärts wirkt. Auf gleiche Art findet man, warum auch an andern Punkten der Scheibe bei dem geringsten Streben die Lage der Achse zu ändern, gleichsam Gegenkräfte frei werden, welche dieselbe in ihre frühere Lage zurückzuführen suchen.

Auch die *Präcession* kann man sich nach dem Obigen nun leicht erklären; denn ist die Achse des rotirenden Körpers schief wie in Fig. 89, so bewirkt ein abwärts gehender Druck bei *m*, dass bei *o* ein Druck nach *oz*, bei *w* nach *wx* entsteht; es oscillirt darum *n'* erst abwärts, dann aus der Ebene des Papiers heraus gegen das Auge des Beobachters. Ist dieser Druck auf *m* constant, so werden die Oscillationen unendlich klein und ihre Wirkung ist eine kreisförmige Bewegung des Punktes *n'* um seine frühere Lage in gleicher Richtung mit der Rotation der Scheibe. Geht aber der Druck bei *m* aufwärts, oder sucht er die Achse *n's'* wieder vertikal zu stellen, so erfolgt die Bewegung von *n'* in entgegengesetzter Richtung. Die Sonne sucht in Folge der Abplattung unserer Erde ihre Achse, die unter $66^1/_2{}^0$ gegen die Erdbahn geneigt ist, gleichfalls senkrecht zu stellen und bewirkt dadurch jene Bewegung der Pole und der Durchschnittspunkte des Aequators mit der Erdbahn oder Ekliptik, die man *Präcession* nennt. Durch den Mond entsteht eine periodische Bewegung dieser Art, die man *Nutation* nennt.

Der *Fessel'sche Apparat*, Fig. 91, ist eine zweckmässige Abänderung des Bohnenberger'schen. Hier vertritt die Stelle der Kugel eine messingene Scheibe *A* mit starkem Rand, die in einem Ringe zur Rotation gebracht wird. Die verlängerte Achse *aa* lässt sich um eine horizontale Achse drehen, welche durch die Gabel *g* unterstützt wird. Letztere sitzt auf einem runden Stahlstäbchen, welches in einer vertikal stehenden Hülse *h* steckt und sich in ihr um sein zugespitztes unteres Ende dreht. Ein Gegengewicht *P*, welches aus einem Cylinder und einem Scheibchen mit Einschnitt besteht, hält der entgegengesetzten Last das Gleichgewicht. Nimmt man das Scheibchen weg, so würde die rotirende Scheibe sinken ohne die Rotation, so aber dreht sie sich unter gleichbleibender Neigung ihrer Achse um das vertikale Stahlstäbchen in gleicher Richtung mit der Scheibe. Legt man auf *P* noch ein zweites Scheibchen, so sucht dieses wie bei der Präcession die Achse senkrecht zu

Fig. 91.

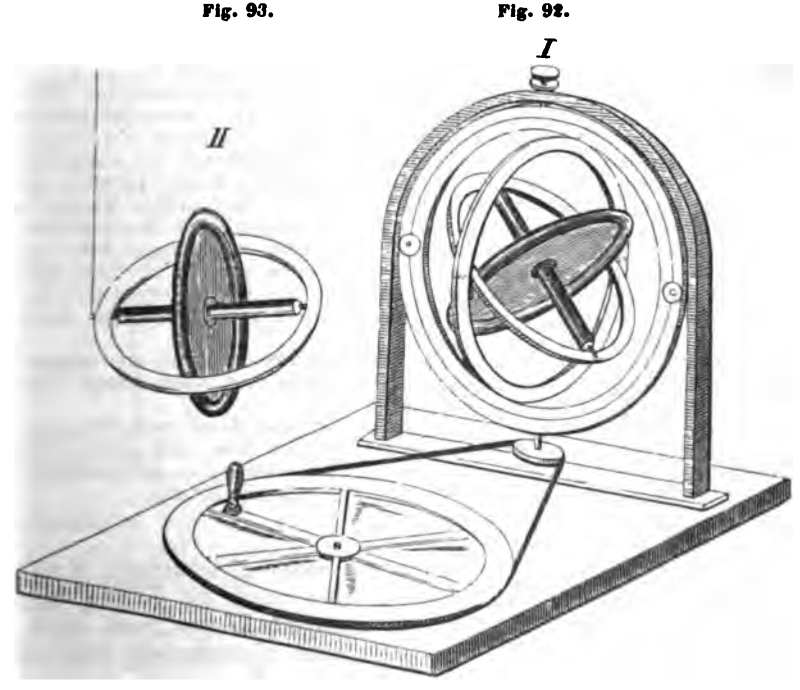


stellen und in Folge davon erfolgt eine langsame Drehung um das vertikale Stäbchen in einer der Rotation entgegengesetzten Richtung. Sehr belehrend treten Oscillationen hervor, wenn man das Gegengewicht ganz weglässt und der Scheibe eine sehr rasche Umdrehung ertheilt.

Man kann diese und mehrere andere Erscheinungen auch durch das von *Poggendorff* verbesserte *Bohnenberger'sche* Maschinchen nachweisen, Fig. 92.

Dieser Apparat enthält statt einer rotirenden Kugel eine dünne Scheibe mit starkem Rand von Messing, welche sich mittelst einer aufgewickelten Schnur um eine eiserne Achse in dem innersten oder ersten Ringe drehen lässt. Dieser Ring dreht sich um eine zweite Achse im zweiten Ring und dieser in einem dritten Ring. Des zweiten Drehachse ist senkrecht zu der des ersten und der dritte Ring kann in dem vierten, damit in einer Ebene liegenden Ring, durch zwei am Rande angebrachte Schräubchen so befestigt werden, dass dadurch die Lage seiner Achse unter jeder Neigung gegen das Brett des Gestelles festgehalten wird. Dieser vierte Ring lässt sich um eine vertikale Achse mittelst eines horizontalen Rades, einer Rolle und eines Schnurlaufes in dem bogenförmigen eisernen Gestelle drehen. Alle Ringe lassen sich herausnehmen, indem man nur die Schrauben, welche die Achsen bilden, herausschraubt.

Fig. 93. Fig. 92.



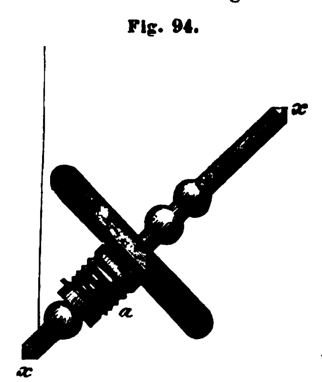
Mit diesem Apparat kann man folgende interessante Versuche anstellen, zu deren Erklärung in dem Obigen die Anleitung gegeben ist.

1) Steht die Achse des dritten Ringes senkrecht und ist der Schnurlauf weg, so hat man das Bohnenberger'sche Maschinchen. Gibt man nun durch eine um die Achse der Scheibe gewundene Schnur der letztern eine schnelle Drehung, und ertheilt man dann ihrer Achse irgend eine schiefe Lage, so kann man das Maschinchen um sich herumbewegen, ohne dass die Lage der Achse sich ändert.

2) Befestigt man vor diesem Versuch auf dem ersten Ring ein kleines Gewicht, welches die Lage der Achse der Scheibe fortwährend zu ändern sucht, so wird ihre Neigung gegen das Brett, so lange die Drehung der Scheibe rasch genug ist, nicht geändert. Die Drehungsachse beschreibt aber langsam einen Kreisbogen um die Vertikallinie, welche durch den Mittelpunkt geht.

3) Nimmt man die Scheibe mit dem ersten Ring heraus und setzt sie in rasche Umdrehung, so kann man sie wie in Fig. 93 auf der Seite an einer Schnur aufhängen, ohne dass sie herabsinkt. Ihre Achse dreht sich aber langsam um die Schnur in horizontaler Richtung, weil ihr eigenes Gewicht nun das kleine Gewicht im vorigen Versuch vertritt. Dieser Versuch ist von *Foucault* und *Froment*. Schliesst man den Ring mit der rotirenden Scheibe in eine kugelförmige Blechbüchse ein, so kann man ihn in die Hand nehmen, und es hat alsdann den überraschenden Schein, als suche eine lebendige Kraft die Büchse in der Lage zu erhalten, die sie hat.

Fig. 94.



Zu dem ersten Versuch mit der Scheibe Fig. 93 kann man auch den englischen Patenttanzknopf, Fig. 94, einrichten. Derselbe besteht aus einer Metallscheibe mit wulstigem Rand und bildet mit dem cylindrischen Ansatz a ein einziges Stück, das sich wie ein Wagenrad um die Achse xx drehen lässt. Durch eine um a gewundene Schnur lässt sich die Scheibe in rasche Drehung versetzen. Stellt man sodann die Achse senkrecht auf den Tisch, so dreht sie sich in Folge der Reibung mit der Scheibe. Hängt man sie aber an einem Faden auf, der in einem unten angebrachten Loch befestigt ist, so dreht sich nur die Scheibe und zeigt dieselben Erscheinungen wie der Ring Fig. 93.

4) Wenn alle Theile wieder wie in Fig. 92 beisammen sind, die Achse des innersten Ringes beliebig schief gestellt und in schnelle Rotation versetzt ist, und man nun mittelst des Schnurlaufes den dritten und vierten Ring rasch herumdreht, so ändert sich die Lage der Achse der Scheibe so lange, bis ihre Lage der Achse des dritten Ringes parallel wird und selbst ihre Drehung nach gleicher Richtung mit der des dritten Ringes erfolgt. Diess zeigt, dass wenn ein Körper, wie im Bohnenberger'schen Maschinchen, fortwährend rotirt, und also mit der Erde in Verbindung steht, seine Achse sich allmählig mit der Erdachse parallel stellen und seine Drehung in gleichem Sinne wie die der Erde erfolgen würde. Während dagegen, wenn ein Körper frei im Raum schwebend, rotirte, seine Achse stets auf den Fixstern gerichtet bliebe, auf den sie von Anfang gerichtet war.

Mit Hülfe des Apparates von *Foucault* und *Froment* kann man sogar diesen Einfluss der Rotation der Erde durch ein Mikroscop noch wahrnehmen. Ein Versuch, der dem Pendelversuch zur Seite steht.

Es ist nun leicht einzusehen, dass wenn auf einer Achse zwei Scheiben angebracht werden, wie bei dem *Apparat von Magnus*, und diese nach einerlei Richtung rotiren, das Beharren der Achse noch grösser wird, während es ganz aufhört, wenn sie nach entgegengesetzter Richtung mit gleicher Schnelle rotiren.

§. 91.

Bis hieher wurden die Wirkungen zweier gleichartigen Kräfte auf einen Körper betrachtet. Es können aber auch die Kräfte ungleichartig sein. Dieses ist z. B. der Fall, wenn ein Körper nach einer horizontalen Richtung an, Fig. 95, geworfen oder abgeschossen wird. Durch die momentane Wirkung des Schusses hat er eine gewisse Geschwindig-

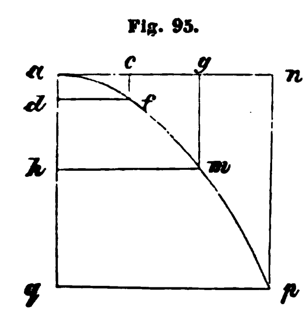


Fig. 95.

keit erlangt, welche ihn vermöge der Trägheit in der Richtung *an* bewegt. Die constante Wirkung der Schwere treibt ihn in vertikaler Richtung *aq* mit ungleichförmiger Geschwindigkeit und zwar in der ersten Sekunde durch den Raum $ad = 4{,}9$ Meter, in 2 Sekunden durch $4 \,.\, ad = ah$, in 3 Sekunden durch $9 \,.\, ad = aq$. Wird nun die horizontale Geschwindigkeit durch *ac* ausgedrückt, so legt der Körper vermöge der Trägheit in der ersten Sekunde den Weg *ac*, in der zweiten den Weg $cg = ac$, in der dritten den Weg $gn = ac$ zurück. Die vereinigte Wirkung der Schwere und des Wurfs bewirkt also, dass er am Ende der ersten Sekunde in *f*, am Ende der zweiten in *m* und am Ende der dritten in *p* ankommt, folglich den Weg *afmp* durchläuft. Diese Bahn ist eine Parabel, weil sich die Abscissen *ad*, *ah*, *aq*, verhalten wie 1, 4, 9 ... und die Ordinaten *df*, *hm*, *qp* wie 1, 2, 3 ..., folglich $ad : ah : aq$ wie $df^2 : hm^2 : qp^2$. Ebenso lässt sich leicht zeigen, dass auch die Bahn eines schief in die Höhe geworfenen Körpers eine Parabel ist, wenn, wie oben, keine Rücksicht auf den Widerstand der Luft genommen wird. Bei Geschossen, die eine grosse Geschwindigkeit haben, ändert dieser Widerstand die Bahn beträchtlich, bei dem Wasserstrahl eines Brunnenrohrs nur wenig ab.

§ 92.

Um die Wirkung zweier ungleichartigen Kräfte auch unter solchen Bedingungen kennen zu lernen, wo die Richtungslinien der constanten Kraft nicht mehr, wie bisher, parallel sind, nehmen wir Fig. 96 an, *c* sei der Mittelpunkt eines anziehenden Körpers.

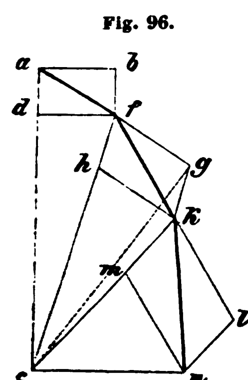


Fig. 96.

Wenn der in *a* befindliche Körper keine Bewegung hat, so wird er gegen *c* fallen, sobald er nicht unterstützt ist; erhält aber *a* einen Stoss, welcher ihn in demselben Zeittheilchen von *a* nach *b* treibt, in welchem ihn die Anziehungskraft von *a* nach *d* bewegt, so muss er in diesem Zeittheilchen den Weg *af* durchlaufen. Vermöge seiner Trägheit würde er nun in dem nächsten Zeittheilchen den Weg $fg = af$ zurücklegen, allein die Anziehungskraft treibt ihn in derselben Zeit nach *h*; daher ist er am Ende des zweiten Zeittheilchens in *k*. Im dritten Zeittheilchen treiben ihn zwei Kräfte; die eine von *k* nach *l*, wenn $kl = fk$, und die andere von *k* nach *m*; folglich muss er den Weg *kn* zurücklegen u. s. w. Da die Wirkungen der Anziehungskraft ohne Unterbrechung auf einander folgen, so müssen die Zeittheilchen sehr klein angenommen werden, und darum verwandelt sich die gebrochene Linie *afkn*, welche den beschriebenen Weg vorstellt, in eine *krumme Linie*. Die Kraft *ad*, welche den Körper nach *c* treibt, heisst die *Centripetalkraft*, und die zu ihr senkrechte Kraft *ab*, die *Tangentialkraft*. Eine der Centripetalkraft gleiche, aber entgegengesetzte Kraft drückt

aus, mit welcher Stärke sich ein Körper von dem Mittelpunkte c entfernen würde, wenn er nicht durch die Anziehungskraft zurückgehalten würde. Man nennt sie daher die *Centrifugal-* oder *Fliehkraft.* Ist der in a befindliche Körper durch einen Faden in c befestigt, so heisst die Centrifugalkraft, welche den Faden spannt, indem der Körper sich um c dreht, auch die *Schwungkraft.* Schon die Betrachtung der Figur zeigt, dass die Geschwindigkeit des Körpers um so grösser wird, je mehr er sich dem Punkte c nähert; indem z. B. kn grösser als kl, also auch grösser als fk ist. Hierauf beruht die Bewegung der Planeten um die Sonne und die der Monde um ihre Planeten.

Als Beispiel einer solchen Bewegung dient auch das Centrifugalpendel, vergl. §. 86 Anm.

Die Linien ac, fc, kc u. s. w., welche die Punkte der Bahn mit dem Anziehungsmittelpunkte verbinden, nennt man die *radii vectores;* da nun das Dreieck acf gleich dem Dreieck fcg und das Dreieck fcg gleich dem Dreieck fck ist, weil die Linie gk parallel cf ist; so ist auch das Dreieck acf gleich dem Dreieck fck. Eben so kann man beweisen, dass das Dreieck fck gleich dem Dreieck kcn ist. *Die von dem radius vector in gleichen Zeiten durchlaufenen Flächenräume sind also gleich.* Die Anziehungskraft ist hier keiner bestimmten Grösse unterworfen, indem ad, fh und mk willkürlich angenommen wurden. Wenn die Tangential- und die Centripetalkraft ein solches Verhältniss haben, dass $ac = fc$ wird, so ist die Bahn ein Kreis in den übrigen Fällen kann sie eine Ellipse, Parabel oder Hyperbel sein, und es lässt sich zeigen, dass die Umlaufszeit für eine Ellipse dieselbe ist, wie für den Kreis, wenn ihre halbe grosse Achse dem Radius gleich ist. Legt man nun die Kreisbewegung zu Grunde, und nimmt man an, ein Körper durchlaufe in einer Sekunde den Bogen af, Fig. 97, so ist seine Geschwindigkeit $C = af$, und wenn af sehr klein ist, so kann man auch die Sehne af dafür annehmen. Da nun die Dreiecke adf und afg in einem Kreise ähnlich sind, so ist $\frac{ad}{af} = \frac{af}{ag}$ oder $ad = \frac{af^2}{ag}$. Hier ist ad der Fallraum eines Körpers in 1 Sekunde in der Richtung ac. Indem wir nun für af die Geschwindigkeit C einführen und den Durchmesser ag gleich $2R$ setzen, wird $ad = \frac{C^2}{2R}$.

Fig. 97.

Ist T die Zeit, in welcher der Körper die Peripherie des Kreises durchläuft, so ist der Umfang $2\pi R = CT$ folglich $C = \frac{2\pi R}{T}$ und $ad = \frac{2\pi^2 R}{T^2}$. Da $2 \cdot ad$ die Geschwindigkeit ist, die der Körper in einer Sekunde durch den Fall gegen c erlangen würde, also das Maass für die beschleunigende Kraft, so wird diese auch durch $\frac{C^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$ ausgedrückt.

Bezeichnet man durch P' den Druck, welchen der Körper a vermöge der Anziehungskraft nach der Richtung ac ausübt, und sein Gewicht durch P; ferner das Maass der Beschleunigung in der Richtung ac durch g' und das der Schwere durch g, so ist, nach §. 71, $\frac{g'}{g} = \frac{P'}{P}$, also $g' = \frac{P'}{P} \cdot g$. Da nun für den kleinen Raum ad das Maass der Beschleunigung als unverändert betrachtet werden kann so ist $ad = \frac{g'}{2}$, folglich $\frac{P'}{P} \cdot \frac{g}{2} = \frac{C^2}{2R}$ und daher $P' = \frac{C^2}{gR} \cdot P$. Dem Druck P' ist die Schwungkraft gleich, und die letzte Formel drückt also die Grösse der Schwungkraft aus. An einem drei Meter langen Faden übt also ein 6 Kilogramm schwerer Körper, welcher 7 Meter Geschwindigkeit hat, eine Schwungkraft von $P' = \frac{49}{9{,}81 \cdot 3} \cdot 6$ oder 10 Kilogr. aus. Für jeden andern Körper ist $p' = \frac{c^2}{gr} \cdot p$ also $P' : p' = \frac{C^2 P}{R} : \frac{c^2 p}{r}$.

Drehen sich beide Körper um einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt mit gleicher Winkelgeschwindigkeit, so ist $C : c = R : r$, also $P' : p' = RP : rp$.

Daraus folgt, dass die Schwungkraft mit der Masse und mit dem Abstande des bewegten Körpers von der Drehungsachse zunimmt. Für gleiche Massen $P = p$, ist $P' : p' = R : r$, und da bei der Erde der Abstand von der Achse dem Cosinus der geographischen Breite proportional ist, so verhält sich für einen Punkt unter dem Aequator und für einen, dessen geographische Breite $= \beta$ ist, $P' : p' = 1 : \cos \beta$.

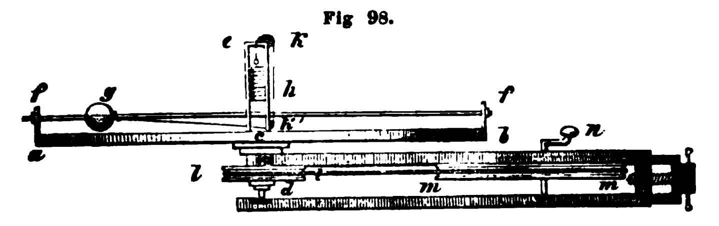
Für die Entfernung R und die Geschwindigkeit C war das Maass der Beschleunigung $2 . ad$ oder $g' = \frac{C^2}{R}$, für einen andern Punkt v mögen g'', c und r dieselbe Bedeutung haben, so ist $g'' = \frac{c^2}{r}$, folglich $g' : g'' = \frac{C^2}{R} : \frac{c^2}{r}$. Da aber nach dem Gravitationsgesetze die Anziehungskräfte, also nach §. 71 die Maasse der Beschleunigung sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten, so ist $g' : g'' = r^2 : R^2$, woraus folgt, dass $r^2 : R^2 = \frac{C^2}{R} : \frac{c^2}{r}$ oder dass $C^2 : c^2 = r : R$, das heisst: *die Quadrate der Geschwindigkeiten verhalten sich umgekehrt wie die Entfernungen.*

Wenn die Zeiten, welche der erste Punkt in a und der zweite in v brauchen, um die Peripherie ihres Kreises zu durchlaufen, T und t genannt werden, so ist $C . T = 2 R \pi$ und $ct = 2 r \pi$, folglich $C : c = \frac{R}{T} : \frac{r}{t}$ und $C^2 : c^2 = \frac{R^2}{T^2} : \frac{r^2}{t^2}$. Es ist also $r : R = \frac{R^2}{T^2} : \frac{r^2}{t^2}$; daraus erhält man $T^2 : t^2 = R^3 : r^3$, das heisst: *die Quadrate der Umlaufszeiten verhalten sich wie die Kubikzahlen der Entfernungen.*

Das letzte Gesetz, so wie das von der elliptischen Bewegung der Planeten und von der Gleichheit der Flächenräume fand *Kepler* durch die Beobachtung der Bewegung unserer Erde und der Planeten um die Sonne, wesshalb sie auch seinen Namen führen. *Newton* fand durch die Aufstellung des Gravitationsgesetzes ihre mathematische Begründung.

Die vorstehenden Gesetze kann man durch den Apparat, Fig. 98, welcher nur wenig von der Centrifugalmaschine *Nairne's* verschieden ist, nachweisen. ab ist eine

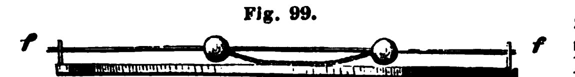
Fig. 98.



kreisförmige Scheibe von wenigstens drei Fuss Durchmesser, damit sie einen gleichförmigen Gang erhält. Die eiserne Achse derselben ruht in der Pfanne d. Auf der nämlichen Achse ist das am Rande ausgedrehte Rad ll befestigt. Ein zweites Rad mm, welches mittelst der Kurbel n gedreht werden kann, hat den doppelten Umfang des ersten, und dient dazu, mittelst einer gespannten Leine dem Rade ll, und damit der Scheibe ab die doppelte Umdrehungsgeschwindigkeit zu ertheilen. In der Mitte der Scheibe ist ein messingenes Gestell ec befestigt, welches aus vier metallenen Stäbchen besteht, die oben und unten in messingenen Plättchen eingelassen sind. In dem obern liegt die Achse der leicht beweglichen Rolle k. Zwei kleinere parallele Rollen befinden sich bei k'. Die Träger f und f, welche sich diametral gegenüberstehen, tragen die polirte Stahlstange ff, auf welcher die hölzerne durchbohrte Kugel g leicht verschoben werden kann. Die Enden einer feinen Seidenschnur sind auf beiden Seiten der Kugel g an Häkchen befestigt. Beide Theile der Schnur laufen über die kleinen Rollen k', und vereinigt über die Rolle k. Ein Haken, welcher die Gewichte h trägt, ist an diese Schnur befestigt. Das Gewicht h besteht aus vielen parallelen, kreisförmigen Plättchen von gleicher Schwere, die man in beliebiger Zahl hineinlegen kann, und vertritt die Stelle der Anziehungskraft.

Dreht man nun die Scheibe, so entfernt sich die Kugel g von der Mitte, spannt den Faden und hebt das Gewicht h, wenn die Centrifugalkraft gross genug ist. Bei einiger Uebung kann man der Scheibe einen so gleichförmigen Gang ertheilen, dass das Gewicht h stets in einer Höhe von 1 Millimeter, oder mehr, über der Stahlstange schwebend erhalten wird. Dadurch ist man im Stande, das oben angegebene Beispiel von der Formel $P^1 = \frac{C^2 P}{g R}$ zu prüfen.

Fig. 99.



Wenn man, wie in Fig. 99, zwei durchbohrte Kugeln, die sich auf der Stange ff in Fig. 98 leicht verschieben lassen, durch eine Schnur miteinander verbindet und in Entfernungen von der Mitte aufstellt, die sich verhalten wie 2 : 3, während ihre Gewichte sich verhalten wie 3 : 2, so werden sie bei jeder Geschwindigkeit im Gleichgewicht bleiben, weil alsdann

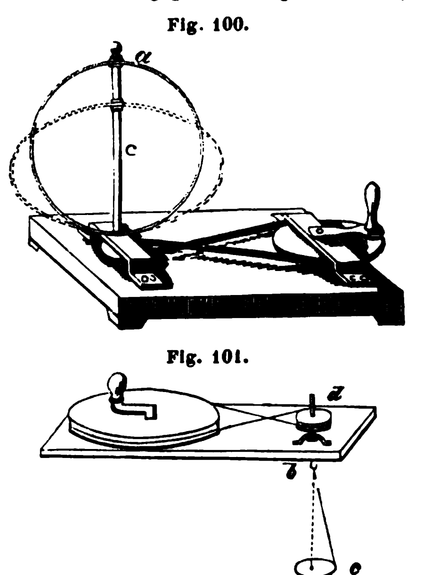
$$P^1 : p^1 = R P : r p.$$

Nimmt man aber in Fig. 98 die Entfernung der Kugel von der Mitte = 15 Zoll und das Gewicht $h = 4/9$ Pfund, so wird man eine gewisse Anzahl Umdrehungen, etwa 40 in einer Minute machen müssen, um das Gewicht schwebend zu erhalten. Bei einem andern Versuche sei die Entfernung gleich 10 Zoll und $h = 9/9$ Pfund, so wird man 73 bis 74 Umdrehungen machen müssen, um h schwebend zu erhalten. Da sich hier $R : r = 3 : 2$ und $R^2 : r^2 = 9 : 4$, also die Quadrate der Entfernungen umgekehrt wie die Gewichte verhalten, so muss auch $R^3 : r^3 = 73^2 : 40^2$ sein, wenn der Versuch mit der Theorie übereinstimmen soll, und in der That ist diess bei dem oben beschriebenen Apparate der Fall. Es befolgt also die Kugel g im kleinen Raume dieselben Gesetze der Umlaufszeiten, wie die Planeten in ihren ungeheuren Entfernungen von der Sonne.

Am Aequator der Erde beträgt die Centrifugalkraft $\frac{1}{289}$ der Schwerkraft. Wäre die Umdrehungsgeschwindigkeit 17mal, also die Fliehkraft 17^2 oder 289mal grösser, so würde sie der Schwerkraft gleich sein.

Fig. 100.

Fig. 101.



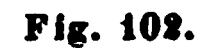
Aus der Fliehkraft erklärt sich die Abplattung unserer Erde, die man auch durch schnelle Umdrehung einer kreisförmig gebogenen Uhrfeder um eine durch ihre Mitte gehende Achse, wie in Fig. 100, versinnlichen kann. Ferner die grössere Wirkung eines Hammers, wenn er einen längern Stiel hat, der Regulator an den Dampfmaschinen, das Spritzen nasser Räder, die Wassermaschine von **Hess**, die Trennung der Wassertheilchen an der *Vera'*-schen Seilmaschine, die Wirkung der Schleuder, das Trocknen mit dem Hydroextractor, der Ventilator und die englischen Centrifugalrutschbahnen u. s. w. Auch erklärt sich daraus die Erscheinung, warum in Fig. 101 der Körper a, welcher an dem Faden bc hängt und mittelst der Achse bd eine schnelle Umdrehung erhält, stets diejenige Lage annimmt, in welcher er sich um seine kleinste Achse dreht. Eine Scheibe, an deren Rand der Faden festgemacht ist, dreht sich z. B. so, dass sie eine horizontale Lage annimmt, ebenso ein Cylinder, wenn die Geschwindigkeit gross genug ist.

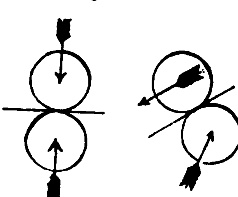
§. 93.

Nach der Untersuchung über die Wirkungen der Kräfte auf die Bewegung und das Gleichgewicht der Körper, ist noch die der Wir-

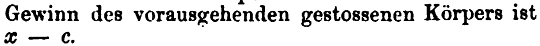
kung von bewegten Körpern auf andere, oder die *Lehre vom Stosse* übrig.

Wenn bewegte Kugeln einander so treffen, dass die Richtung der Bewegung der Mittelpunkte, wie in der ersten Zeichnung der Fig. 102, durch den Punkt geht, in welchem sie sich beim Zusammenstoss berühren, so heisst der Stoss *gerade*. Ebenso wenn eine Kugel senkrecht gegen eine Wand trifft. Bei schiefer Richtung oder wie in der zweiten Zeichnung heisst der Stoss *schief*. Beim geraden Stosse kann man sich vorstellen, dass von dem getroffenen Punkt des einen Körpers die ganze Wirkung des andern auf alle seine Theile erfolgt. Diese besteht in Zusammendrückung und Verschiebung seiner Moleküle, und in Mittheilung von Bewegung an dieselben. Diese Wirkungen können unmöglich berechnet werden, weil man den ungleichen Bewegungszustand der einzelnen Körpertheilchen unmittelbar nach dem Stosse nicht kennt. Nach der Erfahrung können die beiden Körper sich nach dem Stoss entweder gemeinsam und mit gleicher Geschwindigkeit fortbewegen oder mit verschiedenen Geschwindigkeiten. Das erste ist der Fall, wenn die Körper ganz starr und unelastisch sind, das letzte bei elastischen Körpern, wegen der mit der Formänderung verbundenen gegenseitigen Einwirkung. Beide Fälle sind nur als die idealen Gränzen des Zustandes der festen Körper zu denken, denn in der Natur gibt es nichts, was vollkommen unelastisch oder elastisch ist. Im ersten Fall kann man annehmen, dass nach dem Stoss beide Körper mit der Summe oder dem Unterschied ihrer Bewegungsgrössen fortgehen, je nachdem sie nach gleicher oder entgegengesetzter Richtung sich bewegten, weil keine Kraft auf die Veränderung in der Lage ihrer Atome verwendet werden konnte.


Fig. 102.



Wenn die Massen der beiden Körper durch M und m, und ihre Geschwindigkeiten durch C und c bezeichnet werden, so ist die Bewegungsgrösse vor dem Stosse, wenn sie nach einerlei Richtung sich bewegen $= MC + mc$. Nennt man ihre nachherige Geschwindigkeit x, so ist die Bewegungsgrösse, mit welcher sich beide Massen M und m bewegen $= x\,(M + m)$. Da durch den nach einerlei Richtung gehenden Stoss der vorangehende Körper so viel an Bewegung gewinnt, als der Bewegung des stossenden entzogen wird, so geht nichts von derselben verloren.

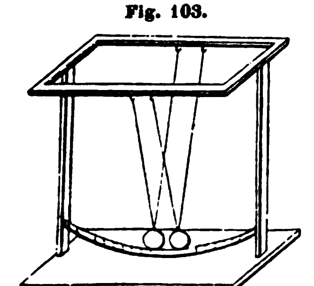


Daraus folgt, dass $x\,(M + m) = MC + mc$, also $x = \frac{MC + mc}{M + m}$.

Der Geschwindigkeitsverlust des stossenden Körpers ist also $C - x$ und der Gewinn des vorausgehenden gestossenen Körpers ist $x - c$.

Sind aber die Bewegungen entgegengesetzt, so ist c negativ, wenn C positiv genommen wird, also $x = \frac{MC - mc}{M + m}$.

Fig. 103.



Um die obigen Gesetze näherungsweise zu prüfen, hängt man, wie in Fig. 103, Kugeln von feuchtem Thon oder Mehlteig pendelartig auf und lässt sie längs des getheilten Gradbogens gegen einander stossen. Aus der Länge des Gradbogens findet man die Fallhöhe und die Geschwindigkeiten der Kugeln.

Obige Sätze benutzt man, um z. B. die Geschwindigkeit einer Kanonenkugel mit Hülfe des

ballistischen Pendels zu finden. Ein grosser Holzblock ist nämlich wie ein Pendel aufgehängt und wird durch die Kugel in Bewegung gesetzt. Mit Hülfe des Ausschlags von diesem Pendel ergibt sich seine Geschwindigkeit und daraus die Bewegungsgrösse von ihm und der Kugel, aus der Bewegungsgrösse und dem Gewichte der Kugel aber die Geschwindigkeit.

§. 94.

Wenn *elastische Körper* auf einander stossen und der Druck, welchen sie auf einander ausüben, nicht so gross ist, dass die Elastizitätsgränze überschritten wird, so tritt durch die Mittheilung der Bewegung ein Augenblick ein, in welchem wie im vorigen §. die gemeinsame Geschwindigkeit erreicht ist, und der durch die Bewegung erzeugte Druck des bewegten Körpers auf den andern gleich Null wird. In diesem Augenblick sind aber die sich berührenden Theile beider Körper zusammengedrückt und suchen in eben der Zeit und mit der gleichen Kraft in die ursprüngliche Form zurückzukehren. Es wird also dem stossenden Körper in einer seiner Bewegung entgegengesetzten Richtung gerade so viel Geschwindigkeit ertheilt, als er durch den Stoss schon verloren hat. Der vorangehende gestossene Körper aber gewinnt durch die Elastizität so viel als er schon durch den Stoss gewonnen hatte.

War also wie im vorigen §. die Geschwindigkeit der elastischen Masse M vor dem Stoss $= C$, und nach dem Stoss ohne elastische Gegenwirkung $= \frac{MC + mc}{M + m} = x$, so erhält sie durch die Wiederausdehnung der elastischen Theilchen die Geschwindigkeit $C - x$ nach entgegengesetzter Richtung. Es bleibt also von der Geschwindigkeit x noch übrig

$$x - (C - x) = 2x - C.$$

Der gestossene Körper m hat zu der Geschwindigkeit x noch den Zuwachs erhalten $x - c$. Seine Geschwindigkeit wird also $= 2x - c$.

Die Bewegungsgrösse von M ist also $= M(2x - C) = B$, und die von m ist $= m(2x - c) = b$. Führt man für x den Werth $\frac{MC + mc}{M + m}$ ein, so wird

$$B = M \frac{(MC - mC + 2mc)}{M + m}$$

$$b = m \frac{(mc - Mc + 2MC)}{M + m}.$$

Wenn man aus den erlangten Geschwindigkeiten $2x - C$ und $2x - c$ die Wirkungsfähigkeit der beiden Massen nach dem Stoss berechnet und addirt, so findet man, dass sie gerade so gross ist als vor dem Stoss, folglich $= MC^2 + mc^2$ wird. Diess ist bei unelastischen Körpern nicht der Fall, weil ein Theil der Wirkung auf die Annäherung ihrer Schwerpunkte verwendet und dieser nicht durch die Gegenwirkung ersetzt wird. Sind die elastischen Massen einander gleich, oder ist $M = m$, so wird $B = Mc$ und $b = mC$, folglich die Geschwindigkeit der ersten $= c$ und die der zweiten $= C$. Sie verwechseln also ihre Geschwindigkeiten. Wäre der zweite Körper in Ruhe, so würde $c = o$, also die Geschwindigkeit des ersten nach dem Stosse $= o$ und die des zweiten $= C$. Das heisst, der zweite nimmt die Geschwindigkeit des ersten an.

Will man die Formeln finden für den Fall, dass beide Körper sich nach entgegengesetzter Richtung bewegen, so darf man nur überall $- c$ statt $+ c$ setzen.

Obige Gesetze lassen sich für gleiche Kugeln leicht auf dem Billard nachweisen. Wird eine Kugel so gestossen, dass die Richtung des Stosses durch ihren Mittelpunkt geht, so ist der Stoss *central*. Stösst man aber die Billardkugel z. B. unten an, so ist der Stoss *excentrisch*. Indem man ihn zerlegt in eine tangentielle und eine centrale Richtung, findet man, dass dadurch eine Drehung erfolgt. Die in Fig. 103 abgebildete Stossmaschine, in welcher man nun Kugeln von Elfenbein aufhängt, dient ebenfalls dazu. Hängt man auf gleiche Art eine Reihe von 7 bis 10 gleichen Kugeln auf, so kann man durch das Anstossen von *einer* zeigen, dass der

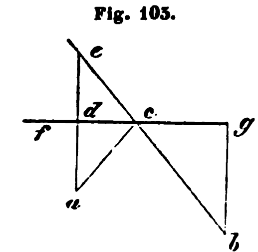
Stoss mit grosser Geschwindigkeit bis zur letzten sich fortpflanzt. Lässt man aber zwei Kugeln anstossen, so gehen zwei fort, bei dreien drei u. s. w., weil der Stoss der ersten früher ankommt als der der zweiten.

§. 95.

Wenn ein fester, unelastischer Körper senkrecht gegen eine feste Ebene stösst, so wird seine Bewegung durch den Widerstand völlig aufgehoben; ein elastischer Körper muss aber mit derselben Gewalt zurückspringen, mit welcher er sich vorher bewegte, indem seine Theilchen sich wieder ausdehnen.

Fig. 104.

Den schiefen Stoss eines unelastischen Körpers kann man durch eine Linie ab, Fig. 104, ausdrücken und zerlegen in einen zu der getroffenen Oberfläche mn senkrechten Stoss ac, und in einen damit parallelen Stoss ad. Der senkrechte Stoss wird aufgehoben und darum bewegt sich der Körper längs der Oberfläche mit der zweiten Kraft fort. — Der elastische Körper wird nach dem Stosse durch zwei Kräfte getrieben. Die Kraft bd, mit welcher er senkrecht zurückfährt, ist der Kraft ac gleich, und die Kraft bg, welche ihn parallel mit der Oberfläche fortbewegt, ist der Kraft ad gleich. Die Mittelkraft beider, oder bf, gibt die Bewegung des Körpers nach dem Stosse an. Indem das Dreieck abd gleich dem Dreieck bdf, so ist auch der *Einfallswinkel x gleich dem Zurückwerfungswinkel y* und ebenso $p = q$.


Fig. 105.

Soll die Kugel a, Fig. 105, so gestossen werden, dass sie den Punkt b trifft, nachdem sie von der festen Wand fg zurückgeworfen worden ist, so findet man den Punkt c, welchen sie berühren muss, indem man die Senkrechte ad verlängert, $de = ad$ macht und be zieht; denn es ist alsdann das Dreieck adc gleich dem Dreieck dce, also der Winkel $acd = dce$, und weil $dce = bcg$, so ist auch der Winkel $acd = bcg$.

§. 96.

Wenn endlich ein harter Körper auf eine weiche Masse stösst, und diese dem Eindringen in der Art widersteht, dass sie ihm in gleichen Zeiten gleiche Geschwindigkeiten raubt, so bewirkt diess eine Verzögerung der Bewegung, wie sie im §. 73 erläutert wurde. Nach jenen Gesetzen müssen sich die *Tiefen, bis zu welchen ein Körper bei verschiedener Geschwindigkeit eindringen kann, verhalten wie die Quadrate dieser Geschwindigkeiten.* Der Körper, welcher mehr Masse hat, wird tiefer eindringen, weil bei gleicher Geschwindigkeit seine Wirkungsfähigkeit grösser ist und sein Querschnitt nicht in gleichem Verhältniss mit der Masse wächst. Der Widerstand des getroffenen Körpers vermindert die Bewegung des andern; ist darum der Widerstand nur schwach, oder die Dauer der Einwirkung sehr kurz, so ist auch der Verlust gering, und ebenso die mitgetheilte Bewegung. Darauf beruht die Erscheinung, dass eine Zimmerthüre durch einen sanften und anhaltenden Stoss zugemacht werden kann, während eine darauf abgeschossene Flintenkugel ihr kaum eine Bewegung ertheilt; dass ein Faden reisst, an welchem man einen

Körper rasch erheben will, während er ganz bleibt, wenn man den Körper allmälig in Bewegung setzt; ferner das Durchlöchern einer Glasscheibe durch einen Schuss, das Zerschmettern derselben durch einen Stoss, und das Zersprengen der Felsen und Flintenläufe durch Pulver, wenn das Rohr mit losem Sande gefüllt ist.

Hieher gehört auch die Erscheinung, dass man mit einer Scheibe aus weichem Eisen oder Kupfer, deren Rand wenigstens 34 Fuss Geschwindigkeit hat, viel härtere, aber ruhende Körper stark abschleifen kann, während die Scheibe kaum angegriffen wird.

Zur Erläuterung des obigen Gesetzes möge folgendes Beispiel dienen: Eine Kugel vom Gewicht P und der Geschwindigkeit C dringe in eine Erdmasse bis zur Tiefe S ein. Der gleichmässige Widerstand, den sie findet, bis sie zur Ruhe kommt, sei gleich W, so ist die Arbeit, die sie verrichtet $= WS$. Ihre Wirkungsfähigkeit war aber $\frac{PC^2}{2g}$, folglich ist $WS = \frac{PC^2}{2g}$ und $W = \frac{PC^2}{2gS}$. Diesen Druck hat sie also auf eine Fläche, die dem Querschnitt der Kugel gleich ist, ausüben müssen. Ist z. B. P das Gewicht eines Pfahles und C die Geschwindigkeit, die er durch den Schlag erhalten hat, so drückt W den Widerstand des Erdreichs, also die Last, die er tragen kann, aus. In der Praxis belastet man ihn nur mit $\frac{W}{3}$. Die Geschwindigkeit C findet man durch die Masse des Rammklotzes und die Geschwindigkeit, die er durch die Fallhöhe erhalten hat, so wie durch die Masse des Pfahles nach den Gesetzen vom Stoss.

§. 97.

In den bisherigen Untersuchungen über die Bewegungen der Körper wurde, der Einfachheit wegen, keine Rücksicht genommen auf die Hindernisse, welche ihrer Bewegung im Wege stehen. Der Erfahrung gemäss sind diese sehr beträchtlich und haben theils ihren Grund in der Beschaffenheit der Körper selbst, theils in dem Widerstande des Mittels, in welchem sie sich bewegen.

Die Hindernisse, welche in der Beschaffenheit der Körper selbst liegen, rühren von der Ungleichheit ihrer Oberflächen her. Diese sind nämlich nie vollkommen eben, desshalb müssen bei der Bewegung eines Körpers auf der Oberfläche eines andern die Erhöhungen des einen in die Vertiefungen des andern einsinken, und daher beim Fortgleiten einen Widerstand leisten. Dieser Widerstand heisst die *Reibung*. Man unterscheidet gleitende und rollende Reibung, je nachdem die Bewegung eine gleitende oder rollende ist. Die Reibung wächst proportional mit dem Drucke der sich berührenden Körper und hängt nicht allein von der Materie derselben ab, sondern auch von der Cohäsion der angewandten Schmiere und von der Adhäsion derselben an dem geriebenen Körper. Auch wächst die Reibung mit der Dauer der Berührung. *Coulomb* glaubte durch das Tribometer gefunden zu haben, dass sich die Reibung mit der Zunahme der Geschwindigkeit des Gleitens vermindere; *Morin* hat dagegen gezeigt, dass sie ganz unabhängig davon ist. Ebenso hat nach ihm die Grösse der Berührungsfläche keinen wesentlichen Einfluss, wenn der Druck derselbe ist. Beim trockenen Uebereinandergleiten verändern sich alle Flächen bedeutend, und zwar faserige Substanzen stärker, als Körper von körnigem Gefüge. Wenn Flächen, die mit Baumöl und Schweinefett bestrichen sind, auf einander gleiten, sei es Holz auf Holz, Metall auf Metall, Metall auf Holz oder Holz auf Metall, so beträgt die Reibung 7 bis 8 Hunderttheile des Druckes. Fettige, das

heisst von Schmiere gereinigte Körper haben weniger Reibung als trockene, und bei Körpern, die längere Zeit in Berührung waren, ist der anfängliche Widerstand grösser als nachher. Die rollende Reibung ist viel geringer als die gleitende. So nachtheilig die Reibung bei bewegten Körpern auf ihre Schnelligkeit wirkt, so nützlich ist sie bei ruhenden Körpern, welche eine feste Lage haben sollen, ferner beim Bergsteigen, Ziehen u. s. w.

Das *Tribometer* besteht in einem Tische mit horizontaler Ebene, an deren Rande eine Rolle angebracht ist. Die Körper, deren Reibung bestimmt werden soll, werden darauf gelegt, und der eine mittelst eines Fadens, der über die Rolle geht und eine Waagschaale mit Gewichten trägt, über dem andern fortgezogen. Nach *Morins* Versuchen beträgt die trockene Reibung folgende Bruchtheile des Druckes:

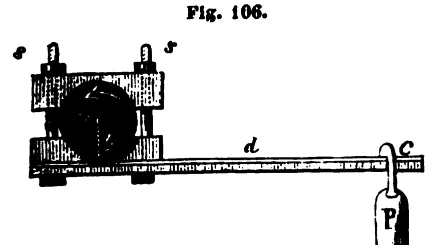
Eiche auf Eiche,		Kupfer auf Eiche	0,62
die Fasern parallel	0,48	Eiche auf Gusseisen	0,372
„ „ gekreuzt	0,32	Gusseisen auf Gusseisen	0,152
„ „ senkrecht	0,336	Eisen auf Gusseisen	0,194
Buche auf Buche parallel	0,36	Stahl auf Gusseisen	0,202
Eisen auf Eiche „	0,626	Messing auf Gusseisen	0,189
Gusseisen auf Eiche	0,490	Eisen auf Eisen	0,138

Die Reibung von Körpern, die im Sande gedreht oder gezogen werden, beträgt bei glatten Körpern 0,5 bis 0,8 des Drucks. Nach *Flachat* ist die Zugkraft auf einer gewöhnlichen horizontalen Strasse $^1/_{15}$ bis $^1/_{20}$ der Last, und auf einer Eisenbahn $^1/_{189}$ bis $^1/_{210}$ derselben. Ein Pferd zieht also 10 bis 12mal mehr darauf. Die Wirkung seiner Kraft besteht in der Ueberwindung der Reibung und der Trägheit des zu bewegenden Körpers. Wie diese berechnet werden, ist in §. 74 und 75 gezeigt worden. Die Reibung wird vermindert durch Ebnung der Oberflächen, durch Schmiere und durch Verwandlung der gleitenden Reibung in eine rollende. Auf letzterem beruht der Nutzen der Räder an den Wagen, der *Garnet*'schen Vorrichtung, bei welcher die Achse eines Rades nicht in einer Pfanne, sondern zwischen beweglichen Rädern, *Frictionsrollen*, ruht u. dgl. m.

Die Reibung wird bei *Prony's Brems-Dynamometer* auch benutzt, um die Arbeit zu messen, welche z. B. ein Wasserrad oder eine andere Kraftmaschine leistet. Man umgibt nämlich einen genau abgedrehten Theil der Welle *a*, Fig. 106, mit zwei halbkreisförmig ausgeschnittenen Sätteln, welche durch Anziehung der Schraubenmuttern bei *ss* an die Welle angepresst werden, um die Reibung zu vermehren. Indem nun die Welle sich in der Richtung des Pfeils umdreht, strebt sie den Hebel *bc* und das Gewicht *P* mitzunehmen. Befindet sich daher dieses Gewicht in einer solchen Entfernung, in welcher ihm der Widerstand der Reibung *R* gerade das Gleichgewicht hält, der Hebel also horizontal bleibt, und ist *Q* das Gewicht, mit welchem der Hebel bei *c* zu sinken sucht, wenn er, sonst unbelastet, bei *b* unterstützt wird, so ist $R \,.\, ab = Q \,.\, bc + P \,.\, bc$, folglich der Widerstand der Reibung oder $R = \frac{bc}{ab}(P + Q)$. Wird nun dieser Widerstand durch den Raum $2\pi \,.\, ab$ oder durch den Weg einer Umdrehung in der Zeit *t* *n*mal überwunden, so ist die in dieser Zeit geleistete Arbeit

$$2\pi n \,.\, bc\,(P + Q).$$

Fig. 106.



§. 98.

Das Mittel, in welchem die Körper sich bewegen, muss selbst eine Bewegung erhalten, und ihnen darum von der ihrigen rauben. Die Gestalt des bewegten Körpers kann viel zu der Leichtigkeit beitragen, mit welcher die widerstehenden Flüssigkeitstheilchen ausweichen, weil der

Widerstand mit der Oberfläche desjenigen Querschnitts eines Körpers wachsen muss, welcher zur Richtung desselben senkrecht ist. Daher die Gestalt der Schiffe, Vögel, Fische und die entgegengesetzte Einrichtung des Fallschirms, der Flugräder an Uhren u. s. w. Dieser Widerstand wächst übrigens mit dem Quadrate der Geschwindigkeit, wenn man, wie es eben in der Erfahrung nicht immer der Fall ist, annimmt, dass die aus dem Wege gestossenen Theilchen ihn *nicht* umkreisen, und in den benachbarten Theilchen eine Störung bewirken, die auf seine Bewegung Einfluss hat; denn stellt man sich vor, eine Fläche von 1 Quadratfuss werde mit der Geschwindigkeit c bewegt und treibe die Luftmasse m mit gleicher Schnelligkeit vor sich her, so muss sie dieser die Wirkungsfähigkeit mc^2 ertheilen, und also einen Widerstand erleiden, der mit dem Quadrat der Geschwindigkeit und mit der Dichte wächst; daher fallen Körper viel langsamer im Wasser als in der Luft. Der wirkliche Widerstand ist aber grösser als der obige, weil Luft und Wasser an die bewegten Körper adhäriren und zu der Erzeugung der entstehenden Wirbel gleichfalls Arbeit nöthig ist. Adhärirt z. B. eine dünne Wasserschichte so fest an den Wänden eines Schiffes, dass sie mit demselben fortbewegt wird, so muss sie an der zunächst angränzenden Wasserschichte sich reiben, weil diese nicht mit gleicher Geschwindigkeit bewegt wird. *Coulomb* und in neuerer Zeit *O. E. Meyer* haben durch die Abnahme der Oscillationen einer an einem Draht horizontal aufgehängten Scheibe, die in Wasser eintaucht, die Reibungsconstante bestimmt, und Letzterer hat gefunden, dass dieselbe für Wasser auf einen Quadratcentimeter bei 10° Wärme 0,01567 Gramm, für Luft ohngefähr den 40sten Theil beträgt. Bei höherer Temperatur ist dieselbe geringer. Sehr leichte Körper fallen viel langsamer in der Luft als schwere von gleicher Oberfläche, weil die bewegende Kraft kleiner ist. Der Widerstand kann endlich der Beschleunigung durch den Fall gleich werden, dann geht ein Körper mit gleichförmiger Geschwindigkeit fort.

Bei Eisenbahnen ist der Widerstand der Luft merklich. Ein Waggon von 22½ Quadratfuss Fläche, der 16 Fuss Geschwindigkeit hat, erleidet nach Versuchen einen Widerstand von 17 bis 18 Pfund. Bei mehreren Waggons ist der Widerstand nicht in gleichem Verhältniss grösser.

In tropfbaren Flüssigkeiten ist natürlich der Widerstand noch grösser, wegen ihrer grössern Dichte und Cohäsionskraft, wie *Rennie* an einem im Wasser sich drehenden Cylinder beobachtete. *Beaufoy* hat, um die beste Form der Schiffe zu finden, untersucht, welchen Widerstand ein im Wasser fortgezogener Körper erfährt, und gefunden, dass er nicht ganz mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wächst, sondern bei grössern Geschwindigkeiten in einem etwas geringern Verhältnisse zunimmt. Ein englischer Quadratfuss erfährt bei 13,572 englische Fuss Geschwindigkeit einen Widerstand von ungefähr 200 Pfund. In Canälen ist der Widerstand grösser wegen der Stauung, und wächst mit der 2,85sten Potenz der Geschwindigkeit.

B. Gleichgewicht und Bewegung tropfbar-flüssiger Körper.

§. 99.

Wenn ein fester Körper, z. B. ein Cylinder, in der Richtung seiner Achse gedrückt wird, so muss die oberste Schichte der Massentheilchen der darauf folgenden genähert werden; diese muss sich der dritten

Schichte nähern u. s. w. Der Druck erfolgt darum in der Richtung der Achse, und es findet nur eine unmerkliche Fortpflanzung desselben zur Seite statt. Wenn aber ein Gefäss, Fig. 107, mit Wasser oder Luft gefüllt ist, und ein festschliessender Kolben übt auf *ab* einen Druck aus, so pflanzt sich dieser nach allen Richtungen mit gleicher Stärke fort, und wirkt auf die Wände des Gefässes, wie auf die Fläche *cd*, vorausgesetzt, dass man auf das Gewicht der Flüssigkeit keine Rücksicht nimmt. Ist die Fläche von *cd* doppelt so gross als die von *ab*, so ist darum auch der Druck auf *cd* zweimal so gross als der auf *ab*. Oder die Grösse des Drucks wächst mit der Grösse der gedrückten Fläche. Der Grund dieser Erfahrung liegt in der leichten Verschiebbarkeit aller Flüssigkeitstheilchen.

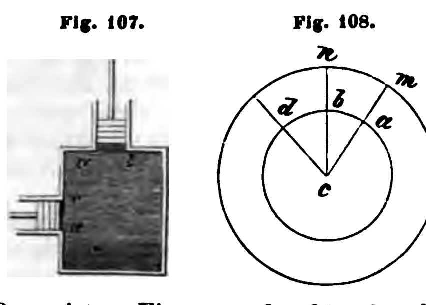


Fig. 107. Fig. 108.

Um den Gleichgewichtszustand einer sich selbst überlassenen Wassermasse zu finden, stelle man sich vor, sie sei keiner andern Kraft als der gegenseitigen Anziehungskraft ihrer Theilchen unterworfen, so wird sie die Gestalt einer Kugel annehmen müssen. Denn ist *c*, Fig. 108, der Mittelpunkt derselben, so werden die in gleichen Entfernungen liegenden Theilchen *a* und *b* gleich stark von *c* angezogen, und üben also auf die unter ihnen befindlichen Theilchen gleichen Druck aus; ferner werden sie von oben gleich stark gedrückt, indem der Druck, welcher von der Wassermenge *am* herrührt, gerade so gross sein muss als der, welcher von der Wassermasse *bn* herrührt. Ebenso ist es mit jedem andern in gleicher Entfernung von *c* sich befindenden Theilchen *d*. Wäre *am* nur um etwas grösser als *bn*, so würde bei der leichten Verschiebbarkeit der Wassertheilchen *a* mit einer grössern Gewalt zerfliessen als *b*, und der Zustand des Gleichgewichts aufhören. Stets wird aber dieser Zustand wieder hergestellt werden, wenn sowohl alle in gleicher Entfernung vom Mittelpunkte befindlichen Wassertheilchen gleich stark auf die unter ihnen befindlichen drücken, als auch gleich stark von oben gedrückt werden. Da die Kraft, mit welcher jedes Theilchen zu zerfliessen strebt, der Kraft gleich ist, mit welcher alle in gleicher Entfernung vom Mittelpunkt befindlichen, anstossenden Theilchen zu zerfliessen suchen, so heben sich alle entstehenden Seitenkräfte auf, und es wirkt nur noch die zu jeder einzelnen Schichte *abd* senkrechte Kraft. Ebenso ist es an der Oberfläche; denn wäre *m* im Stande, seine angränzenden Theilchen nach der Seite zu verdrängen, so müsste es stärker von *c* angezogen werden, welches nur der Fall sein könnte, wenn entweder die Flüssigkeit keine Kugelgestalt angenommen hätte, oder noch irgend eine Kraft einwirkte. Man sieht leicht ein, dass die näher bei *c* befindlichen Theilchen stärker gedrückt werden, und also eine grössere Dichtigkeit haben müssen als die entfernteren. Hieraus folgt, dass die Weltkörper vollkommen kugelförmig sein würden, wenn nicht ihre Umdrehung bei der Bildung ihrer Oberfläche mitgewirkt hätte, wie im §. 92 gezeigt wurde. Immer aber ist aus den obigen Gründen die Oberfläche senkrecht zur resultirenden

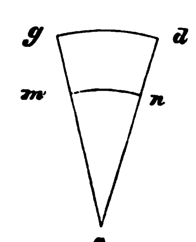
Wirkung der anziehenden Theile; folglich zur Richtung des Bleilothes. Auch die Anziehung des Mondes bewirkt eine Aenderung in der Kugelgestalt der Erde, wie Ebbe und Fluth beweisen.

Mit Hülfe einer Mischung von Alkohol und Wasser, die vollkommen gleiche Dichte mit Olivenöl hat, wies *Plateau* nach, dass in ersterer eine Quantität von diesem Oel vollkommene Kugelgestalt annimmt.

§. 100.

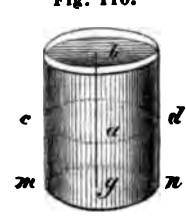
Wenn nun *c*, Fig. 109, der Mittelpunkt unserer Erde ist, und *gd* ein Theil ihrer flüssigen Oberfläche, so folgt aus dem Vorhergehenden, dass sowohl alle in *gd* befindlichen Theilchen gleiche Entfernung von *c* haben müssen, als auch, dass in gleicher Tiefe unter *gd*, z. B. in *mn*, der Druck überall gleich ist. Wenn *gd* nur ein sehr kleiner Theil der Erdoberfläche ist, so kann man ihn für eben ansehen, und *darum hat jede Flüssigkeit im Zustande der Ruhe eine horizontale Oberfläche, und in gleichen Tiefen unter dieser ist der Druck überall gleich.*

Fig. 109.



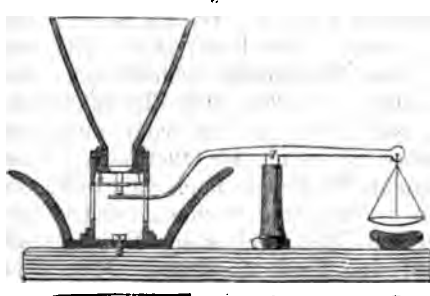
Ist auch die Tiefe nur gering, so dass man auf die Aenderung der Anziehungskraft der Erde keine Rücksicht zu nehmen braucht, so ist der Druck auf *m* dem Gewichte der Wassersäule gleich, welche das Theilchen *m* zur Basis und *gm* zur Höhe hat. Die *Grösse des Drucks richtet sich also nur nach der Tiefe unter der Oberfläche der Flüssigkeit* und *nach ihrer Dichte.*

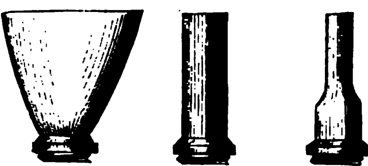
Fig. 110.



Wenn die Flüssigkeit in einem Gefäss eingeschlossen ist, so müssen die Wände desselben der Gewalt widerstehen, mit welcher die Wassertheilchen zu zerfliessen streben. Diese Gewalt ist in Fig. 110 für *c* und *d* dem Drucke von *ba*, und für *m* und *n* dem Drucke von *bg* gleich; weil die Grösse des Druckes sich nur nach der Tiefe unter der Oberfläche richtet. Dabei muss in jeder Schichte der Druck von oben nach unten einen Gegendruck von unten nach oben erfahren, der ihm gleich ist. Daher kommt es, dass der Druck auf den Boden der verschiedenartigsten Gefässe gleich gross ist, wenn die Grundfläche bei allen gleich und die Höhe des Wasserstandes die nämliche ist. Das Gewicht der darin enthaltenen Wassermasse aber ist nicht ihrem Druck auf den Boden gleich, sondern richtet sich nach der Masse.

Fig. 111.





Man kann obige Gesetze von dem Druck durch folgende Apparate nachweisen: In Fig. 111 ist ein konisches Glasgefäss, welches unten offen und mit einer messingenen Fassung versehen ist, auf einen hohlen Metallcylinder geschraubt. Den Boden des Glasgefässes bildet ein von unten nach oben sich öffnendes, sehr genau in eine Metallplatte eingeschliffenes

konisches Ventil. Wird das Glasgefäss bis an den Rand mit Wasser gefüllt, so ist ein gewisser Druck von unten nöthig, um das Ventil zu öffnen. Dieser wird dadurch hervorgebracht, dass man Gewichte in die Waagschale legt, die an dem horizontalen Hebel hängt. Das entgegengesetzte Ende desselben geht dann in die Höhe und drückt durch einen in einer vertikalen Hülse befindlichen Stift das Ventil auf und das Wasser fliesst in die darunter befindliche Schüssel. Entfernt man das erste Gefäss und schraubt an seine Stelle eines der drei andern in der Zeichnung abgebildeten Gefässe, so ist bei gleicher Wasserhöhe stets dasselbe Gewicht nöthig, um das Ventil zu öffnen, weil die Bodenfläche stets die nämliche bleibt und der Druck sich nicht nach der Gestalt der Seitenwände, sondern nur nach der Tiefe richtet. Durch den Apparat Fig. 112 kann man auch den Druck von unten versinnlichen. Zieht man die an einer Schnur hängende Metallplatte fest an den Boden des unten abgeschliffenen Glascylinders und taucht man sie so in ein mit Wasser gefülltes Gefäss, so gibt es eine Tiefe, bei welcher sie nicht mehr abfällt, wenn man die Schnur auch nachlässt, weil der Druck von unten dann grösser ist als der von oben. Dringt aber die Flüssigkeit in den Cylinder, so fällt die Platte ab.

Fig. 112.

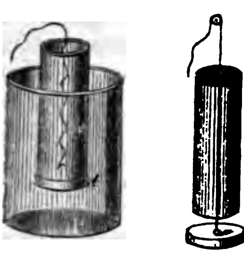
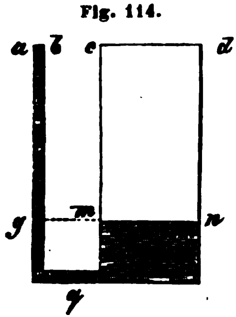


Fig. 113.

Der Druck auf die vertikale Seitenwand abo, Fig. 113, eines rechtwinklichten Gefässes wird gefunden, wenn man sich vorstellt, ab sei ein unendlich schmaler Streifen und in sehr viele kleine Theile getheilt, und den Druck auf jeden einzelnen Theil sucht. Macht man $gh = ag$, so kann die Wassermasse gh den Druck auf g vorstellen; ebenso kann bc den Druck auf b vorstellen, wenn $bc = ab$. Das Dreieck abc stellt alsdann den Druck auf ab vor. Ist nun die ganze Seitenwand der Länge bo nach in schmale vertikale Streifen getheilt, so wird der Druck auf jeden durch eine Schichte, deren Grundfläche dem vorigen Dreieck gleich ist, vorgestellt, und folglich der Gesammtdruck durch ein dreiseitiges Prisma, dessen Grundfläche abc und dessen Höhe der Länge der Seitenwand entspricht. Ist die Höhe $= a$, die Länge $= l$, so ist der Inhalt des Dreiecks $= \frac{a^2}{2}$ und der des Primas $= \frac{a^2 l}{2}$. In einem Würfel ist $a = l$, der Druck auf jede Seitenfläche also $= \frac{a^3}{2}$ oder halb so gross als der Druck auf den Boden.

§. 101.

Fig. 114.



Wenn zwei Gefässe, Fig. 114, durch eine Röhre mit einander verbunden sind, und sich in beiden Wasser befindet, so wird der Zustand des Gleichgewichts erst dann eintreten können, wenn in irgend einem Querschnitte q der Röhre ein jedes Wassertheilchen von beiden Seiten gleich stark gedrückt wird, oder mit andern Worten, in gleicher Tiefe unter ab und unter cd sich befindet. *In communicirenden Gefässen ist also eine Flüssigkeit im Gleichgewicht, wenn die Oberflächen in einer horizontalen Ebene liegen.*

Hierauf beruht die Nivellirwaage. Sie besteht aus einem geraden metallenen Rohre, welches an den Enden rechtwinklicht umgebogen ist und zwei damit communicirende Glasröhren trägt. Ist die Röhre mit Wasser gefüllt, so gibt die Linie, welche durch die beiden Oberflächen des Wassers in den

Glasröhren geht, die Richtung einer horizontalen Linie an. Genauer und empfindlicher als die Nivellirwaage ist die *Wasserwaage*. Der Hauptsache nach besteht sie aus einer Glasröhre, die sehr wenig nach oben gekrümmt ist und so weit mit Wasser oder Weingeist gefüllt wird, dass nur eine kleine Luftblase übrig bleibt, die den höchsten Theil der Röhre einnimmt, wenn ihre Unterlage horizontal ist. Die artesischen Brunnen, viele Quellen, das Erscheinen des sogenannten Horizontalwassers, gründen sich ebenfalls auf dieses Gesetz.

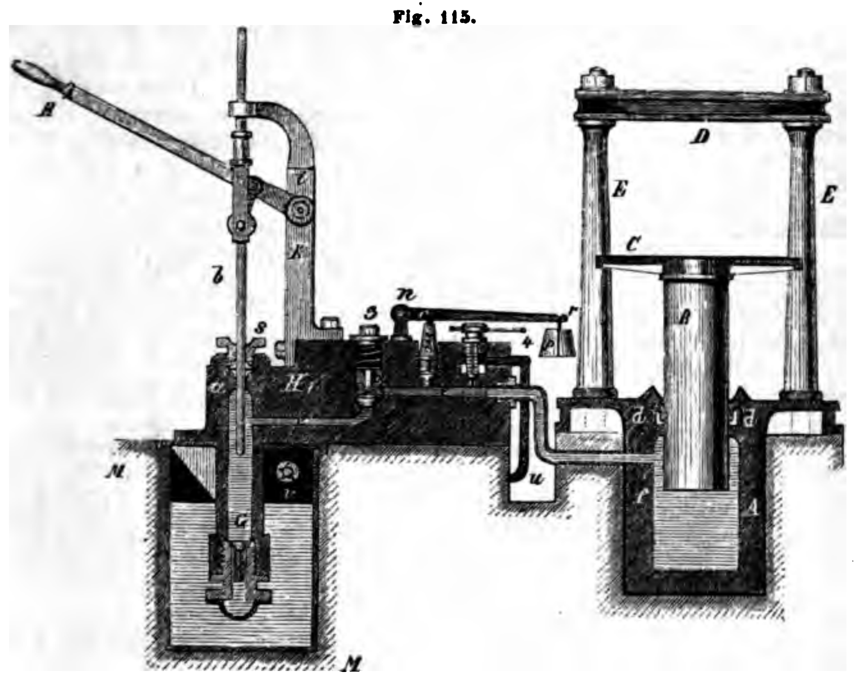
§. 102.

In den communicirenden Gefässen (Fig. 114) hält nach dem Vorhergehenden eine Wassermenge *ag* der Wassermasse *cdmn* das Gleichgewicht. Denn wenn der Druck, welchen *cdmn* ausübt, nicht durch einen eben so starken Gegendruck aufgehoben würde, so müsste das Wasser in die Röhre *aq* eindringen. Fehlt also die Wasserschichte *cdmn*, so bewirkt die Wassersäule *ag* einen nach oben gehenden Druck auf die Fläche *mn*, welcher dem Gewichte der Wassermasse *cdmn* gleich ist. Es kann also durch eine geringe Wassermenge ein sehr grosser Druck hervorgebracht werden, wenn man das eine Gefäss sehr weit macht und in dem andern engern Gefässe das Wasser sehr hoch steht. Soll diese Kraft benutzt werden, um bei *mn* eine Bewegung zu erzeugen, so muss das Wasser, wenn die Fläche *mn* z. B. 100mal grösser ist als die des Querschnitts bei *g*, in der Röhre *ag* um hundert Fuss fallen, bis es über *mn* um einen Fuss steigt.

Hierauf gründet sich *Wolf's* anatomischer Heber, *Real's* Extractivpresse, *Reichenbach's* Wassersäulenmaschine und die *hydraulische* Presse, die schädliche Wirkung des Wassers auf Schleussen, wenn es unter ihnen eindringen kann u. s. w.

Die Wirkung des langen Rohres *ag* in Fig. 114 kann auch durch einen Druck hervorgebracht werden, welcher dem der Wassersäule *ag* gleich oder grösser ist. Diess geschieht in *Bramah's* Presse, welche gegenwärtig zu sehr vielen Arbeiten gebraucht wird, wo ein grosser Druck auf geringe Entfernung nöthig ist. Sie besteht aus dem starken eisernen Presscylinder *A*, Fig. 115, dem Presskolben *B*. der Pressplatte *C*, der Gegenplatte *D*, welche durch starke eiserne Säulen *EE* mit dem Presscylinder verbunden ist. Der Druck wird hervorgebracht durch die Druckpumpe *bG* und die Hebelvorrichtung *HK*. Von der Druckpumpe führt ein Kanal *ee* in den Presscylinder *A*. Alle diese Räume werden mit ausgekochtem Wasser gefüllt, ehe der Presskolben eingesetzt wird, damit keine Luft darin ist. Drückt man nun an dem Hebel *H*, so wird der Druckkolben *b* herabbewegt und verdrängt das in dem Druckcylinder *G* befindliche Wasser. Dieses kann bei *s* nicht entweichen, weil der Druckkolben dort durch eine dichte Liederung geht, es muss also durch den Kanal *ee* gehen und in dem Presscylinder *Af* den Druck auf den Presskolben *B* vermehren. Dieser geht nur vermöge des Drucks auf seine untere Fläche in die Höhe, weil die Seitenpressungen sich aufheben. Diese Seitenpressung wird benutzt, um die wasserdichte Schliessung zwischen dem Presscylinder und dem Presskolben zu bewirken, indem bei *dd* ein lederner Ring eingelassen ist, der durch das eindringende, gepresste Wasser fest gegen den Presskolben angedrückt wird. Unter 3 bei *o* ist ein Ventil, welches sich von unten nach oben öffnet und das Zurücktreten des Wassers aus dem Presscylinder in den Druckcylinder verhindert. Geht nun der Druckkolben wieder in die Höhe, so öffnet sich das bei *G* befindliche Ventil, weil dann der Druck von innen kleiner ist als der des Wassers, welches sich in dem Gefäss *MM* befindet. Dieses Ventil *G* fällt beim Herabgehen des Druckkolbens wieder zu und es wird eine neue Portion Wasser nach dem Presscylinder *A* gedrückt, um dort den Druck zu vermehren und den Presskolben zu heben. Dadurch wird der Raum zwischen *C* und *D*, in welchen die zu pressenden Gegenstände gebracht werden, immer kleiner. Die Hebelvorrichtung *nr* mit dem Gewicht *p* dient dazu, um das mit dem Kanal *ee* in Verbindung stehende Sicherheitsventil *m* zu belasten. Dieses öffnet sich nach aussen, wenn der Druck in dem Presscylinder eine gewisse Höhe erreicht hat. Die daneben befindliche Schraube mit dem Hebel 4 dient dazu, um die Communication zwischen der Röhre *u* und dem Kanal *ee* fest zu

Fig. 115.



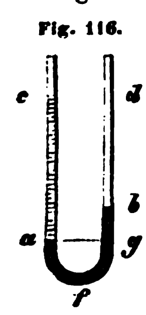
verschliessen. Stellt man diese her, so fliesst das Wasser vermöge des Drucks des Presskolbens B aus dem Presscylinder A durch die Röhre u und die Oeffnung v in das Gefäss MM zurück.

Die Kraft, mit welcher man in H drückt, sei 50 Pfund, und ihre Entfernung vom Unterstützungspunkte $HK = 30$ Zoll; die Entfernung des Kolbens b der Saugpumpe vom Unterstützungspunkte K aber nur 3 Zoll, so ist der in der Saugpumpe ausgeübte Druck = 500 Pfund. Ist der Durchmesser des Kolbens der Saugpumpe nur der 20ste Theil von dem des Kolben B, so ist der Querschnitt von B 400mal grösser, also auch der durch B ausgeübte Druck 400 . 500 oder 200000 Pfund.

§. 103.

Wenn sich in den communicirenden Röhren cf und fd, Fig. 116, Flüssigkeiten von verschiedener Dichte befinden, so kann man aus der Höhe derselben das Verhältniss ihrer Dichtigkeiten finden; denn nimmt z. B. die eine Flüssigkeit den Raum afb ein, während die andere den Raum ac erfüllt, und zieht man die horizontale Linie ag, so hält die Säule bg der ac das Gleichgewicht, indem afg durch sich selbst im Gleichgewichte ist. Der Druck von bg ist also dem von ac gleich, und wenn bg z. B. der vierte Theil von ac wäre, so müsste die Flüssigkeit in afb viermal dichter sein als die in ac. Hierauf gründet sich *Scannegatti's* Aräometer und *Thilorier's* hydrostatische Lampe; ersteres ist jedoch, wie einige neuere Nachahmungen, von keinem besondern Nutzen.

Fig. 116.



§. 104.

Wenn man sich unter p, Fig. 117, einen Theil der in dem Gefässe befindlichen Flüssigkeit vorstellt, so ist dieser in Ruhe, weil sein Ge-

Fig. 117.



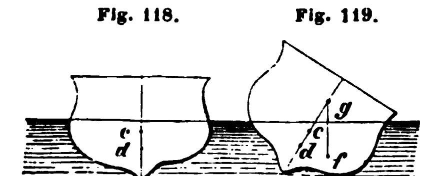
wicht mit dem Drucke, welchen er von oben erleidet, zusammengenommen, dem Gegendrucke von unten gleich ist. In einer grössern Tiefe ist es ebenso. Träte nun an die Stelle der flüssigen Masse p ein eben so schwerer Körper von ganz gleicher Grösse, so müsste auch dieser in Ruhe bleiben, weil der Druck auf die unter ihm befindliche Flüssigkeit weder vermehrt, noch vermindert worden ist. Dieser Körper wird also weder sinken noch steigen. Jeder andere Körper, welcher gleiche Grösse mit p hat, muss aber eben so viel an seinem Gewichte verlieren, indem der Druck auf den Körper von oben stets um das Gewicht der Wassermasse p kleiner ist, als der Druck des Wassers von unten. *Darum verliert jeder Körper in einer Flüssigkeit so viel von seinem Gewichte, als die Flüssigkeit wiegt, welche er aus dem Raume verdrängt.* Dieses Gesetz führt von seinem Entdecker den Namen ***Prinzip des Archimedes.***

Eine einfache Folge davon ist, dass er sinkt, wenn die verdrängte Flüssigkeit leichter ist, und schwimmt, wenn sie schwerer ist. Im letzten Falle wird der Körper nur so tief eintauchen, bis die Flüssigkeit, welche der eingetauchte Theil verdrängt, dem Gewichte des ganzen Körpers gleich ist; weil dann der Druck nach oben durch den gleichen Gegendruck aufgehoben wird. Aus der Grösse des eingetauchten Theiles eines Körpers und aus dem bekannten Gewichte eines Kubikfusses der Flüssigkeit kann man darum das Gewicht des schwimmenden Körpers finden.

Wird ein Körper, der leichter ist als Wasser, z. B. ein cylindrischer Stab, ganz unter die Oberfläche desselben gebracht, so erleiden alle Theile desselben einen gleichen Druck nach oben. Die Richtungen aller dieser Pressungen sind der vertikalen Richtung der Schwere parallel aber entgegengesetzt. Ihre Resultante wird darum ebenso gefunden, wie früher, und geht stets durch den Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit. In dem obigen Beispiel fällt der Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit mit dem Schwerpunkt des Körpers selbst zusammen, wenn der Körper gleichförmig dicht ist. Sowie aber der Schwerpunkt n des eingetauchten Körpers (Fig. 117) nicht mit dem Schwerpunkte m der verdrängten Flüssigkeit zusammenfällt, so muss eine Drehung desselben erfolgen, weil durch den Schwerpunkt n die Resultante des Druckes nach unten, und durch m die Resultante des Drucks nach oben geht. Diese Drehung dauert so lange fort, bis der Schwerpunkt des eingetauchten Körpers vertikal unter dem Schwerpunkte der verdrängten Flüssigkeit liegt.

Bei einem schwimmenden Körper, z. B. einem Schiffe, Fig. 118, tritt natürlich der Gleichgewichtszustand ebenfalls ein, wenn sein Schwerpunkt vertikal unter dem Schwerpunkt des verdrängten Wassers liegt.

Fig. 118. Fig. 119.



Aber auch wenn der Schwerpunkt des Schiffs in c, und der des verdrängten Wassers in d liegt, ist Stabilität möglich; denn nimmt der vorige Körper die Lage wie in Figur 119 an, und ist wieder c der Schwerpunkt des Schiffs, so kann der

Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit nicht mehr in d liegen, sondern er wird etwa in f sein. Die Schwere des Schiffs wirkt dann in c abwärts, der Druck des Wassers in f aufwärts nach fg. Es wird also wieder eine Drehung erfolgen, welche das Schiff in die vorige Lage zurückzubringen sucht. Der Punkt g heisst das *Metacentrum*, und es gilt daher die Regel, dass ein schwimmender Körper Stabilität hat, wenn sein Schwerpunkt unter dem Metacentrum liegt.

Hierauf beruht z. B. die Lage, welche schwimmende Körper im Wasser annehmen, der Bau der Schiffe, die Nothwendigkeit des Ballastes u. dgl.; auf dem Frühern die Einrichtung der Rettungsboote, das Sinken und Steigen der Fische durch Zusammendrücken der in ihren Blasen enthaltenen Luft, der cartesianische Taucher, die Schwimmkleider, Rettungsapparate bei Schiffbrüchen, das Heben gesunkener Massen durch leere Fässer u. dgl. Das Schwimmen der Menschen hat seinen Grund in dem Stossen der Hände und Füsse gegen das Wasser; doch ist dazu nur sehr wenig Kraft nöthig, indem die meisten Menschen im Wasser ihr ganzes Gewicht verlieren. Daher kann man sich in ganz ruhigem Wasser, ohne sich zu bewegen, schwebend erhalten, wenn man den Kopf zurückbewegt, so dass die Nase den höchsten Punkt einnimmt, und kurz athmet. Das lebhafte Einathmen dehnt die Brusthöhle so aus, dass der Körper zum Theil über das Wasser emporsteigt, aber beim Ausathmen dann ebenso tief unter die Oberfläche sinkt. Diese Schwingungen weiss der Geübte zu vermindern und muss der Nichtschwimmer, welcher in's Wasser fällt, dadurch vermeiden, dass er den Athem anhält.

Das Eichen der Schiffe oder die Bestimmung des Gewichtes, mit welchem sie belastet werden können, beruht ebenfalls hierauf. Man berechnet nämlich den kubischen Inhalt des Raumes, welcher zwischen der Gränze liegt, bis zu der das leere Schiff eintaucht, und dem Querschnitte, bis zu welchem das beladene Schiff einsinken darf. Beträgt dieser Raum z. B. 5000 Kub.-Fuss Bad. M., so ist die gewöhnliche Belastung 5000 . 54 Pfund oder 2700 Ctr., weil 1 Bad. Kubikfuss Wasser 54 Pfund wiegt.

Auf dem Schwimmen beruht auch die Lagerung einer schwerern Flüssigkeit auf einer leichtern, die Dosenlibelle und die cylinderförmige Libelle, die sogenannte Elementarwelt, das Verwandeln von Wasser in Wein. Nahe an den Mündungen der Ströme ist das Wasser in der Tiefe schon salzig, während es an der Oberfläche noch süss ist u. dgl. m.

Körper, die ein sehr geringes Gewicht haben, sinken im Wasser langsamer als andere. Darauf beruht das *Schlemmen*, bei welchem die feinsten Theile eines pulverförmigen Körpers zuletzt zu Boden sinken.

§. 105.

Der Gewichtsverlust, den ein Körper erleidet, welcher in eine Flüssigkeit eingetaucht ist, wird ferner zur Bestimmung der Dichte desselben benutzt. Man wägt den Körper erst in der Luft und dann in reinem Wasser, welches eine mittlere Temperatur, am besten 9° C. hat, weil bei dieser Temperatur die Dichte des Wassers ziemlich genau seiner Dichte bei 0° gleich ist. Der Unterschied beider Gewichte ist der Gewichtsverlust des Körpers, oder das Gewicht einer gleich grossen Wassermenge. Andere legen die grösste Dichte des Wassers, also bei 4° C., als Einheit zu Grunde. Die Dichte drückt man aus, indem man angibt, wie oft das Gewicht des Wassers, also der obige Gewichtsverlust, in dem Gewichte des Körpers, oder in seinem absoluten Gewichte enthalten ist. Ist z. B. das absolute Gewicht eines Stückchens Kupfer gleich 270, sein Gewicht im Wasser nur noch 240, so ist sein Verlust im Wasser gleich 30, also die Dichte desselben gleich $\frac{270}{30}$ oder 9. Ferner sei das absolute Gewicht eines Holzes gleich 15, und das Gewicht,

welches erfordert wird, um es vollkommen unterzutauchen, sei 20, so wiegt die gleiche Wassermenge 35; also ist die Dichte jenes Holzes $\frac{15}{35}$ oder $\frac{3}{7}$. Diesen Bruch verwandelt man gewöhnlich in einen Decimalbruch, und nennt in diesem Falle die Dichte 0,4285 ... Um die Dichte von Flüssigkeiten zu finden, senkt man zuweilen erst eine Kugel von Glas in Wasser und bestimmt ihren Gewichtsverlust, darauf taucht man sie in die zu untersuchende Flüssigkeit, um ihren Gewichtsverlust darin zu finden. Der erste Verlust ist das Gewicht einer gewissen Wassermenge, der letzte ist das Gewicht einer eben *so grossen* Menge jener Flüssigkeit. Die Dichte ist die Zahl, welche ausdrückt, wie oft der erste Verlust in dem zweiten enthalten ist.

Um das spezifische Gewicht, d. h. das Gewicht einer bestimmten Volumenseinheit, z. B. eines Kubikzolls Wasser zu bestimmen, lässt man einen sehr genauen Cylinder von Metall verfertigen, berechnet seinen Kubikinhalt und sucht auf obige Art seinen Gewichtsverlust im Wasser. Dieser Verlust ist alsdann das Gewicht eines Wassercylinders von gleicher Grösse. Man hat durch solche Versuche gefunden, dass, wenn man bei 4° C. das Gewicht eines Kub.Centimeters Wasser 1 Gramm nennt, dasselbe bei $t°$ durch folgende Zahlen ausgedrückt wird:

t	D	t	D	t	D
0	0,9998918	5	0,9999950	10	0,9997825
1	0,9999536	6	0,9999772	11	0,9997030
2	0,9999717	7	0,9999472	12	0,9996117
3	0,9999920	8	0,9999044	13	0,9995080
4	1,0000000	9	0,9998497	14	0,9993922
				15	0,9992647

Diese Zahlen geben zugleich die Dichte des Wassers bei jeder dieser Temperaturen an. Hat man darum die Dichte eines Körpers, z. B. in Wasser von 10° gleich d gefunden, und kann man von seiner Ausdehnung abstrahiren, so ist sie im Vergleich mit Wasser von 4° C. gleich d . 0,9997825. Ist aber die Ausdehnung des Körpers beträchtlich, so muss man sein Volumen auf die bestimmte Temperatur reduciren. Es sei z. B. das Volumen desselben bei 10° = 1,5 und bei 0° = 1,4 und seine Dichte bei 10° = 5 gefunden worden, so ist sie bei $0° = \frac{5 \cdot 1,5}{1,4} = 5,357$.

§. 106.

Das Abwägen geschieht am besten mittelst der *hydrostatischen* Waage, Fig. 120, welche sich von einer gewöhnlichen nur dadurch unterscheidet, dass die eine Schaale an kürzern Schnüren hängt und unten ein Häkchen hat, um die zu bestimmenden Körper an einem feinen Drahte oder Haare aufzuhängen. Weniger genau ist die *Nicholson*'sche Senkwaage. Diese besteht aus einem cylindrischen Schwimmer, Fig. 121, von Metall, welcher unten mit einem kleinen, schweren Eimer und oben mit einer Schaale versehen ist. An dem Halse ist ein Strich a, bis zu welchem man die Senkwaage durch Auflegen von Gewichten auf die Schaale in einem mit destillirtem Wasser gefüllten Cylinder einsenkt. Das absolute Gewicht des zu untersuchenden Körpers wird bestimmt, indem man ihn auf die Schaale legt und sucht, wie viel Gewicht zugelegt werden muss, bis die Senkwaage abermals bis a einsinkt. Der Gewichtsverlust ergibt sich daraus, dass man mehr Gewicht auf die Schaale legen muss, wenn sich der Körper unten im Eimer, also im Wasser befindet. Körper, welche schwerer sind als Wasser, legt man in den

Fig. 120.

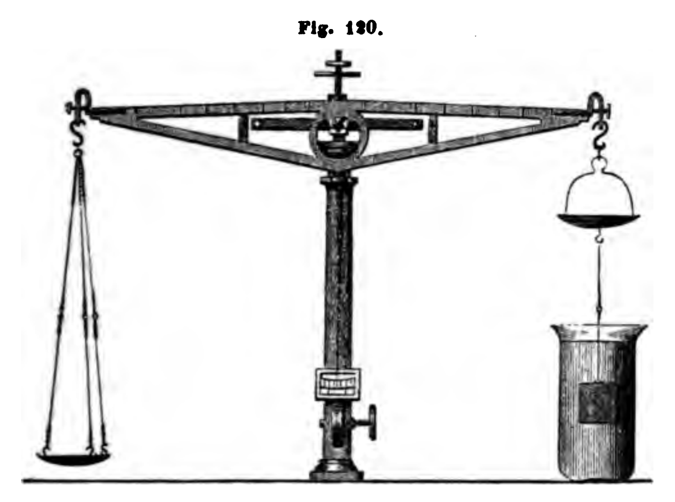
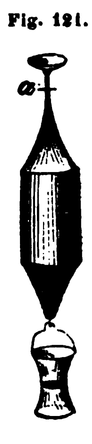
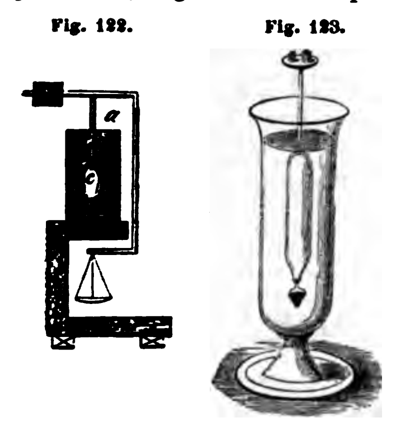


Fig. 121.



obern Theil des Eimers, der mit dem untern Theil mittelst eines durchlöcherten Bodens verbunden ist. Solche, die leichter sind, bringt man in den untern Theil des Eimers. Eine Abänderung davon ist die Senkwaage von *Tralles*, die man auch zu absoluten Gewichtsbestimmungen gebraucht, Fig. 122. Das Sphaeroïd und der Stiel mit dem festen Einsenkungspunkte bei *a* besteht aus Glas, und die Schaale ist durch einen zweimal gebogenen Draht so damit verbunden, dass der Schwerpunkt der ganzen Senkwaage unter die Mitte des Sphaeroïds *c* fällt. Zur Bestimmung des absoluten Gewichts schwerer Körper senkt man diese Waage in Quecksilber. Hierauf gründet sich auch die Waage von *Hassler*. Die Dichte von Flüssigkeiten kann man durch die *Fahrenheit*'sche Senkwaage, Fig. 123, welche wie das *Nicholson*'sche Instrument (Fig. 121) mit einer Schaale versehen, aber ganz von Glas ist, bestimmen; indem man sie erst auf einer empfindlichen Waage wägt (dieses Gewicht betrage z. B. 500), darauf in destillirtes Wasser bringt und Gewicht auf das Schälchen legt, bis das Wasser den fixen Einsenkungspunkt erreicht (dazu sei 300 nöthig); so ist der Gewichtsverlust im Wasser gleich 800. Nun sei der Gewichtsverlust in einer andern Flüssigkeit gleich 2000, so ist die Dichte derselben gleich $\frac{2000}{800}$ oder 2,5.

Fig. 122. Fig. 123.



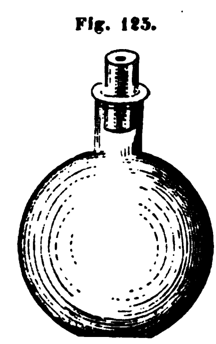
Beim Abwägen fester Körper im Wasser sind alle Luftblasen sorgfältig zu entfernen, weil sie das Gewicht derselben vermindern. Auch muss man genau darauf achten, dass der Draht oder Faden, an welchem der Körper aufgehängt ist, nicht weiter benetzt wird, als er beim Gleichgewicht eintauchen muss. Desshalb legt man die Gewichte, welche den Verlust im Wasser bestimmen, nach und nach

auf die Schaale an den kürzern Schnüren. Pulverförmige Körper bringt man in kleine Uhrschaalen, die mittelst Fäden an das Häkchen der Waage befestigt sind, und bestimmt den Gewichtsverlust des Pulvers, indem man von dem gemeinschaftlichen Verlust von Pulver und Schaale den der Schaale allein abzieht. Ebenso muss bei freien Wägungen auch das Gewicht und der Gewichtsverlust des Fadens oder Drahts berücksichtigt werden. Ist ein Körper A leichter als Wasser, so befestigt man ihn, wie in Figur 124, an einer Klemme von Metall, mit welcher er untersinkt. Den Gewichtsverlust der letztern bestimmt man besonders und zieht ihn vom ganzen Verlust ab. Einen Körper, welcher Wasser anschluckt, sich aber nicht darin auflöst, wägt man erst in der Luft und taucht ihn nachher in's Wasser, bis er keines mehr anschluckt, und wägt ihn dann noch einmal in der Luft. Sein erstes Gewicht betrage 800 Gr., sein zweites 920, so hat er 120 Gr. Wasser angeschluckt. Taucht man ihn nun in Wasser und er verliert 300, so hat das äussere Volumen des Körpers 300 Gr. Wasser verdrängt, und seine Dichte ist $\frac{800}{300} = 2{,}666\ldots$ Zieht man aber obige 120 Gr. Zunahme von dem Gewichtsverlust 300 ab, so bleiben nur 180 Gr. Verlust. Diese verdrängt der Körper wirklich. Das spezifische Gewicht seiner undurchdringlichen Materie beträgt daher $\frac{800}{180}$ oder 4,44 ... Zu Körpern, die sich im Wasser auflösen, nimmt man Alkohol oder Oel und bestimmt ihre Dichte in Beziehung auf diese. Wird z. B. die Dichte eines Körpers 4,3mal grösser als die des Oels gefunden, und ist die des Oels 0,9, so ist die Dichte des Körpers $= 4{,}3 \cdot 0{,}9$ oder 3,87mal grösser als die des Wassers.

Fig. 124.

Zur genauen Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Flüssigkeiten bedient man sich auch eines dünnen Glasfläschchens wie Fig. 125 (sogenanntes Tausendgranfläschchen), dessen eingeriebener Stöpsel ein Stück von einer Thermometerröhre ist, damit der hohle Kanal desselben die überschüssige Flüssigkeit austreten lässt; oder man nimmt ein grösseres Glasfläschchen mit abgeschliffenem Rande, auf welchen man nach dem Füllen des Gefässes eine ebene Glasplatte legt; dadurch erhält man immer dasselbe Volumen der zu vergleichenden Flüssigkeiten. Um die Dichte fester Körper zu bestimmen, kann man sich eines Fläschchens von 200 bis 300 Kub.-Centim. bedienen. Der Glasstöpsel muss sehr genau hinein passen, etwas konisch und kreisrund sein. Zuerst bestimmt man das Gewicht des zu untersuchenden Körpers; es sei $= p$. Sodann füllt man das Fläschchen voll mit Wasser und wiegt indem p auf der Schaale daneben liegt. Diess gebe $q + p$. Sodann legt man p in das Fläschchen, wodurch Wasser vertrieben wird. Das jetzige Gewicht sei w, so ist $q + p - w$ das Gewicht des vertriebenen Wassers, folglich $\frac{p}{q + p - w}$ die Dichte des Körpers. Die in diesem §. beschriebenen Senkwaagen führen auch den Namen Aräometer, den man ihnen aber zur Vermeidung von möglichen Verwechslungen hier nicht gegeben hat. Bei ganz genauen Bestimmungen sind Reductionen des Gewichts auf den leeren Raum, und der Dichte, wegen der Temperatur des Wassers und der Ausdehnung des Körpers nöthig. Mittelst der vorhin beschriebenen Werkzeuge wurde die Dichte oder das spezifische Gewicht fast aller bekannten Körper bestimmt. Von den wichtigsten findet man sie in nachstehender Tabelle.

Fig. 125.



a) Feste Körper.

Blei	11,445	Elfenbein	1,917
Colophonium	1,075	Glas, Bouteillen	2,732
Diamant	3,550	„ Krystall	2,892
Eis, klares	0,940	„ Flint, engl.	3,442
Eisen, geschmiedet . . .	7,788	„ „ Fraunhofer .	3,779
„ gegossen	7,207	Gold, gegossen	19,258
„ Stabeisen	7,844	„ gehämmert	19,263

Holz, Ahorn	0,760	Quarz	2,654
„ Trocken Buchen	0,724	Silber, gegossen	10,474
„ „ Rothtannen	0,498	„ gehämmert	10.511
„ „ Steineichen	0,760	Stahl	7,795
„ „ Kork	0,240	„ Guss	7,919
Kupfer, gegossen	8,788	Thon	1.900
„ gehämmert	9,000	Zink, gegossen	7,213
Marmor	2,837	„ gehämmert	7,681
Messing, gegossen	8,440	Zinn, gegossen	7,291
Platin	21,7	„ gewalzt	7,475

b) Flüssige Körper.

Aether	0,716	Salzsäure	1,212
Alkohol, absoluter	0,792	Schwefelsäure, engl.	1,845
Terpentinöl	0,862	„ nordhäuser	1,896
Baumöl	0,919	Seewasser	1,027
Salpetersäure	1,522	Wein, Burgunder	0,992
Quecksilber bei 0 Grad	13,597	„ Madeira	1,038

§. 107.

Zur Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten dienen auch *Aräometer* mit *Scalen*. Man nimmt eine gleichförmige Glasröhre, Fig. 126, die unten geschlossen ist, und damit sie lothrecht schwimmt, etwas Quecksilber enthält. Sinkt sie nun im Wasser bis a ein, und theilt man die Länge ab in 100 gleiche Theile, und trägt von diesen noch eine Anzahl von a an aufwärts, so kann man damit die Dichte einer andern Flüssigkeit bestimmen; denn sinkt der Stab in ihr z. B. bis zur Zahl 120 ein, so wiegen 120 Raumtheile dieser Flüssigkeit so viel als 100 Raumtheile Wasser. Die Dichte dieser Flüssigkeit ist also $\frac{100}{120}$, und sinkt er bis zur Zahl n, so ist die Dichte $= \frac{100}{n}$. Da solche Stäbe nicht bequem sind, so nimmt man statt derselben cylindrische Glasröhren, welche unten, wie in Fig. 127, aufgeblasen sind, und, damit sie lothrecht schwimmen, in der kleinen Kugel etwas Quecksilber oder Schrot enthalten. Man senkt sie in ein Glasgefäss von der Gestalt wie Fig. 128, welches reines Wasser enthält, und bezeichnet den Einsenkungspunkt mit 100. Hierauf bringt man sie in ein Gemenge von Weingeist und Wasser, welches genau die Dichte von z. B. 0,8 hat, und bezeichnet den Einsenkungspunkt mit 125, weil $\frac{100}{125} = 0{,}8$. Den Zwischenraum theilt man in 25 gleiche Theile und trägt deren so viele als Platz haben auf- und abwärts. Ist die Röhre nicht überall gleich dick, so muss man mehrere Punkte auf ähnliche Art bestimmen; die tiefer liegenden z. B. durch Mischungen aus Kochsalz und Wasser. Hierauf beruht die beste Art der Aräometer, nämlich das von *Gay Lussac* und von *Francoeur*, welches auch *Volumeter* genannt wird. Letzterer setzt an den Punkt

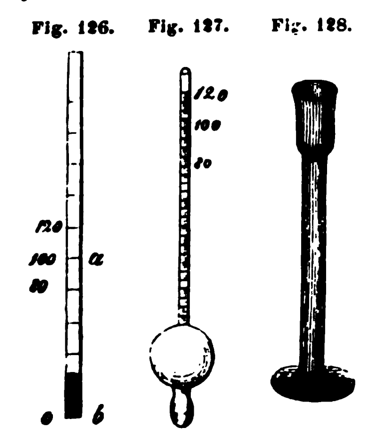


Fig. 126. Fig. 127. Fig. 128.

100 die Zahl 0 und bezeichnet die aufwärts liegenden Grade mit +, die abwärts liegenden mit —. Wegen der unbequemen Länge der Scala hat man besondere Aräometer für Flüssigkeiten, die schwerer sind als Wasser, und andere für solche, die leichter sind. Weniger genau sind in der Regel die Aräometer, welche das spezifische Gewicht unmittelbar angeben, weil die Theile darauf ungleich werden und ihre Verfertigung grössere Schwierigkeiten hat.

Ausser den obigen sind noch häufig andere Aräometer mit gleichen Theilen im Gebrauch. Das *Beaumé*'sche Aräometer für Flüssigkeiten, die *schwerer* sind als *Wasser*, erhält eine Scala, auf welcher 0 den Punkt bezeichnet, bis zu welchem es im destillirten Wasser einsinkt, also den höchsten Punkt, und 15 den Punkt, bis zu welchem es in einer Mischung von 3 Theilen Kochsalz auf 17 Theile Wasser einsinkt. Von den 15 gleichen Theilen zwischen diesen Punkten werden noch ohngefähr 50 bis 60 abwärts getragen. Bei dem Aräometer für leichtere Flüssigkeiten als Wasser wird 0 an den Punkt gesetzt, bis zu welchem es in einer Mischung von 1 Theil Kochsalz auf 9 Theile Wasser einsinkt, und 10 an den Punkt, bis zu welchem es in reinem Wasser einsinkt. Von diesen Theilen werden gewöhnlich noch 50 aufwärts getragen. Man nennt diese Theile *Grade*, deren Werth aber erst durch Vergleichung mit dem spezifischen Gewicht der Flüssigkeit gefunden werden kann.

Aehnliche Aräometer haben *Cartier* und *Beck* verfertigt; das letztere verdient vor beiden den Vorzug, ist aber dennoch nicht so allgemein. In der nachstehenden Tafel sind zwei dieser Aräometer-Scalen, von 10 zu 10 Graden, mit der entsprechenden Dichte der Flüssigkeit verglichen.

Für Flüssigkeiten

leichter als Wasser.			*schwerer* als Wasser.		
Grade.	Beaumé.	Beck.	Grade.	Beaumé.	Beck.
0	—	1,0000	0	1,000	1,0000
1	—	0,9941	1	1,007	1,0059
10	1,000	0,9444	10	1,072	1,0625
20	0,933	0,8947	20	1,157	1,1333
30	0,875	0,8500	30	1,256	1,2143
40	0,824	0,8095	40	1,375	1,3077
50	0,784	0,7727	50	1,515	1,4167
60	0,744	0,7391	60	1,690	1,5454
70	—	0,7083	70	1,909	1,7000

Aus diesen Tafeln findet man z. B. die Dichte einer Flüssigkeit, in welcher das *Beaumé*'sche Aräometer für schwere Flüssigkeiten 45 Grade angibt, zwischen 1,375 und 1,515.

Da Weingeist und Wasser bei der Vermischung einen kleineren Raum einnehmen, so kann man aus der Dichte einer solchen Mischung den Gehalt an Alkohol nicht finden, wenn man dazu keine auf Versuchen beruhende Tabelle hat.

Eine solche Tabelle folgt nach. In ihr bezeichnet *A* die Dichte der Mischung von Weingeist und Wasser bei 15,55° C. und *B* die Anzahl der Maasse reinen Alkohols von 0,7939 Dichte, welche in 100 Maass Weingeist enthalten sind.

A	*B*	*A*	*B*	*A*	*B*	*A*	*B*
0,9991	0	0,9646	30	0,9234	55	0,8631	80
0,9919	5	0,9583	35	0,9126	60	0,8488	85
0,9857	10	0,9510	40	0,9013	65	0,8332	90
0,9802	15	0,9427	45	0,8892	70	0,8157	95
0,9761	20	0,9335	50	0,8765	75	0,7939	100
0,9700	25						

In 100 Maass Weingeist sind also, wenn das Volumeter die Dichte 0,9427 gibt, 45 Maass absoluter Alkohol von 0,7939 Dichte enthalten. Die Differenz zwischen 45 und 50 ist 92. Diess gibt für eine Differenz des spezifischen Gewichts von $\frac{92}{5}$ oder 18, ein Procent mehr. Ist also die Dichte 0,9445, so ist der Alkoholgehalt gleich 46. Man hat auch Branntweinwaagen, welche unmittelbar den Gehalt an Alkohol angeben. Die von *Tralles* ist in Deutschland gesetzlich vorgeschrieben. Für

den Salzgehalt, Zuckerlösung, Schwefelsäure, Salpetersäure, Most u. s. w. hat man ähnliche Waagen. Bei letzterem ist es der Zuckergehalt, welcher vorzüglich das Einsinken bestimmt. Bei Bier, Wein und Milch ist das Aräometer als Maass der Güte ganz verwerflich. *Steinheil* hat aber für das Bier einen Gehaltmesser angegeben, der auf Folgendem beruht: Aus dem Malz entwickelt sich Gummi und Malzzucker. Die Hälfte des letztern verwandelt sich bei der Gährung des Biers halb in Weingeist, halb in Kohlensäure, welche grösstentheils entweicht. Der Extract oder der Zucker- und Gummigehalt des Biers vergrössert das spezifische Gewicht desselben; der Weingeistgehalt sein Vermögen, das Licht zu brechen. Durch die Untersuchung dieser Eigenschaften ergibt sich der Gehalt an beiden Stoffen.

Wenn die schwere Kugel an dem Aräometer eine Thermometerkugel ist, und man mit Hülfe desselben zugleich die Temperatur und Dichte einer Flüssigkeit finden kann, so ist es natürlich für den Gebrauch viel bequemer.

Auch bei dem Gebrauch der Aräometer muss man alle Luftblasen entfernen, die Berührung mit den Wänden des Gefässes verhindern und die Oberfläche sehr rein halten. Es darf nicht weiter bewegt werden, als es gerade eintaucht, und die Flüssigkeit muss sich dann rund um den Hals gleichweit hinaufziehen. Um eine richtige Ablesung zu erhalten, muss das Auge sich tiefer als die Oberfläche der Flüssigkeit befinden und dann so weit erheben, bis die untere Spiegelung der Flüssigkeitsfläche verschwindet.

§. 108.

Die Kenntniss der Dichte verschiedener Körper führt unmittelbar zu der ihres Gewichtes, wenn der Rauminhalt gegeben ist. Darum muss man das Gewicht einer bestimmten Wassermenge kennen. Dieses fand man, wie oben schon gesagt ist, indem Cylinder von Metall, deren Kubikinhalt möglichst genau gemessen war, in Wasser getaucht wurden. Aus jenem Gewichtsverluste bestimmte man das Gewicht einer gleich grossen Wassermenge. Es ist schon früher angegeben worden, dass der tausendste Theil vom Gewichte eines Kubikmeters Wasser bei 4,1° C. Wärme ein Kilogramm ist. Ebenso weiss man, dass

1 Preuss. Kubikfuss Wasser = 66 Pfund Pr. Gewicht,
1 Wiener Kubikfuss = 56 Pfund 12 Loth, 172,18 Gr. Wiener Gewicht,
1 Badischer Kubikfuss Wasser = 54 Pfund Bad. Gewicht ist u. dgl. m.

Da nun 1 Kubikfuss Wasser 54 Pfunde wiegt, so findet man, weil die Dichte des Quecksilbers gleich 13,6 ist, dass 1 Kubikfuss Quecksilber 54 . 13,6 oder 734,4 Pfunde wiegen muss. Bei der Berechnung grosser Massen ist dieses von Wichtigkeit, indem man ihr Gewicht nicht durch Wägen bestimmen kann. Umgekehrt bestimmt man das Volumen eines Gefässes, indem man die Zahl der Pfunde, um die es beim Anfüllen mit Wasser schwerer wird, durch das Gewicht eines Kubikfusses Wasser dividirt. Das Volumen eines festen Körpers, der z. B. 4 Pfund wiegt und dessen Dichte 3,4 beträgt, wäre 3,4mal grösser, wenn er plötzlich in Wasser verwandelt würde. Es wiegt also eine gleich grosse Wassermenge nur $\frac{4}{3,4}$ Pfund, und das Volumen des Körpers beträgt so oft 1 Kubikfuss, als das Gewicht eines Kubikfusses Wasser in $\frac{4}{3,4}$ Pfund enthalten ist.

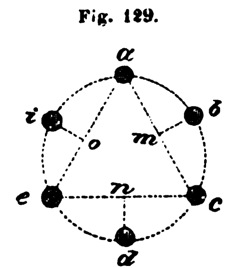
Obgleich die tropfbaren Flüssigkeiten sich nur sehr wenig zusammendrücken lassen, so nimmt doch ihre Dichte bei stärkerem Drucke zu. Das Volumen des luftfreien Wassers wird z. B. bei 0° Wärme um 0,000048, und das des lufthaltenden Wassers um 0,000051 vermindert,

wenn der Druck auf 1 □Centimeter um 1 Kilogramm vermehrt wird. Die Mittel, durch welche man diese Verdichtung gefunden hat, können erst später bei der Compression der Gase mitgetheilt werden.

§. 109.

Der Einfluss anderer Kräfte, als der allgemeinen Anziehungskraft, wurde bisher von der Betrachtung des Gleichgewichts flüssiger Körper ausgeschlossen; man findet aber bald, dass diess nicht immer geschehen kann, besonders bei der Beobachtung kleinerer flüssiger Massen. Auch diese bilden Kugeln; weil aber die Atome sich nur auf sehr kleine Entfernungen anziehen, so werden die an der Oberfläche eines Wassertropfens oder einer andern Flüssigkeit befindlichen Theile nur vermöge der Anziehung der zunächst darunter liegenden Reihen von Atomen nach innen gezogen, und nicht vermöge der ganzen Masse des Tropfens. Auch wirkt die Anziehung der Atome und nicht bloss die allgemeine Anziehung, wie schon die Cohäsion des Wassers beweist. Durch ihren Einfluss haben die Atome an der Oberfläche ein Streben sich der Mitte zu nähern, welches ihre Verschiebbarkeit vermindert und veranlasst, dass die Oberfläche das Ganze wie ein elastisches Häutchen einschliesst; während im Innern die Theilchen leicht verschiebbar bleiben, weil dort jedes nach allen Seiten gleichstark angezogen wird. Dass diese *Flüssigkeitshaut*, wie man jene Spannungserscheinung an der Oberfläche nennen kann, selbst dann noch ein Bestreben behält, sich zusammen zu ziehen, wenn das Innere mit Luft gefüllt ist, wie bei den Seifenblasen, folgt daraus, dass diese sich verkleinern, wenn man das Röhrchen, an dem sie hängen, nicht zuhält. Dasselbe ist auch bei noch flüssigen Glaskugeln der Fall und eine einfache Folge der Anziehung der Atome. Denn gesetzt, es sei der grösste Kreis einer solchen Blase nur aus den sechs Atomen *a, b, c, d, e, i*, Fig. 129, gebildet, so erzeugt die Wirkung der Atome *a* und *c* auf *b* eine Bewegung von *b* nach *m*; ebenso wird *d* nach *n* und *i* nach *o* verschoben. Wenn man in den neuen Stellungen die Anziehung von *o* und *m* auf *a* u. s. w. betrachtet, so sieht man leicht, dass die Kugel immer kleiner werden muss, bis die Ausdehnsamkeit der innern Masse im Gleichgewicht mit der Anziehung der äussern Theile ist. Besteht die Kugelschaale aus mehreren Schichten solcher Atome, so findet darum dasselbe statt. Wird sie durch Einblasen von Luft vergrössert, so können zuletzt alle Atome in einer einzigen Kugelfläche liegen; dann muss aber die geringste Zunahme der Ausdehnsamkeit der eingeschlossenen Luft ein Zerreissen bewirken.

Fig. 129.



Die Ausdehnsamkeit der Luft ist hier im Gleichgewicht mit der Spannung der Flüssigkeitshaut. *Plateau* hat viele Beispiele nachgewiesen, wo die Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen und ihre Adhäsion an feste Körper bewirkt, dass sich regelmässig gebildete Flächen der Flüssigkeit zu gewissen Figuren vereinigen, die er *Gleichgewichtsfiguren* nennt. Es dient dazu eine Flüssigkeit, die aus 2 Volumen Glycerin auf 3 Volumen Seifenbrühe durch längeres Schütteln erhalten worden ist. Die Seifenbrühe besteht aus 40 Gewichtstheilen Wasser auf 1 Gewichts-

Fig. 130.

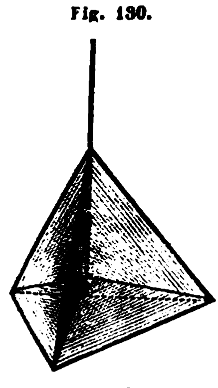


Fig. 131.

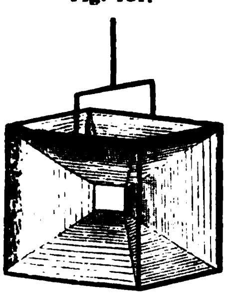
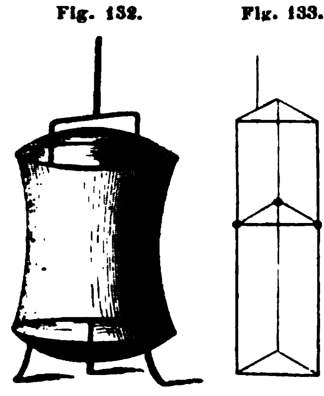


Fig. 132. Fig. 133.



theil Marseiller Seife. Taucht man ein aus rauhem schwach oxydirten Draht gebildetes Tetraëder, wie Fig. 130, in diese Flüssigkeit, und zieht dasselbe an dem oben befestigten Stiel langsam heraus, so zeigen sich sechs ebene Flächen, die an den sechs Kanten adhäriren und sich im Schwerpunkt des Tetraëders durchschneiden. Bei einem Drahtgestell von Würfelform, wie Fig. 131, entstehen auf gleiche Weise über der Vorder- und Hinterfläche oder überhaupt auf zwei gegenüberstehenden Flächen zwei hohle abgestumpfte Pyramiden, deren gemeinschaftliche Abstumpfungsfläche ein kleines Quadrat in der Mitte ist. Andere Figuren erhält man durch Eintauchen von Octaëdern, Prismen u. s. w.

Ein kreisförmiger Ring, wie Fig. 132, der vorher benetzt ist, kann eine kugelförmige Seifenblase unterstützen, die man darauf setzt. Berührt man diese mit einem andern Ring von benetztem Draht, so adhärirt sie. Zieht man letzteren nun an dem obern Stiel langsam in die Höhe, so bildet die Seifenblase einen Cylinder oder ein eingebogenes Becherglas als Gleichgewichtsfigur. So kann man auch an einem dreiseitigen Prisma von Draht, wie in Fig. 133, einen beweglichen dreieckigen Draht in der Mitte anbringen. Taucht man alsdann die untere Hälfte ein, so wird die entstandene Gleichgewichtsfigur verlängert, wenn man das Dreieck parallel mit der Basis hinaufschiebt.

Die Anordnung der obigen Häutchen erfolgt hauptsächlich nach zwei Gesetzen:

1) An einer und derselben flüssigen Kante schneiden sich nie mehr als drei Häutchen, und diese bilden unter sich gleiche Winkel.

2) Wenn im Innern der Figur mehrere flüssige Kanten sich in einem Punkte schneiden, so sind es immer vier, und diese bilden gleiche Winkel mit einander. Es ist gut, wenn bei diesen Versuchen die Luft wenigstens 19° C. Wärme hat.

Der Wassertropfen bildet keine Kugel mehr, wenn er auf einer Unterlage ruht und nicht sehr klein ist. Die Schwere drückt ihn entweder flach, oder er zerfliesst ganz, z. B. auf einer reinen Glasplatte. Ein Quecksilbertropfen bildet auf Glas eine Kugel. wie Wasser auf Staub oder Fett, und zerfliesst auf Silber oder Zinn. Die Ursache dieser Erscheinung nennt man ebenfalls *Adhäsion.* Man schreibt sie dem Umstande zu, dass die Theilchen eines Körpers, welche auf einem andern zerfliessen, zu einander gleiche oder weniger Anziehungskraft haben, als

der Körper zu ihnen hat. Der Grund aber, warum ein Kügelchen nicht zerfliesst, muss darin liegen, dass seine Theilchen einander stärker anziehen, als sie von dem fremden Körper angezogen werden. Darum hört jedoch nicht alle Anziehung des letztern Körpers gegen sie auf; indem z. B. ein sehr kleines Quecksilberkügelchen, welches auf einer Glasplatte nicht zerfliesst, an dieser dennoch hängen bleibt, wenn man sie umkehrt. Nichts ist aber glatter als die Oberfläche eines Quecksilberkügelchens oder eines Wassertropfens, oder jeder Flüssigkeit, wie aus dem oben Gesagten leicht geschlossen werden kann. Auch die Luft adhärirt an feste Körper, wie man z. B. daran sieht, dass, wenn man einen Glasstab in's Wasser taucht, Luftblasen an ihm zum Vorschein kommen.

Auf der Adhäsion beruht das Vergolden, das Belegen der Spiegel, das Leimen, Kitten. Drucken und Zeichnen. An der *Vera*'schen Seilmaschine wird die Adhäsion des Wassers an rauhe Seile benutzt, um Wasser zu heben. Der schottische Dreher ist eine Spielerei, welche auf die Adhäsion eines Uhrglases an eine Glasplatte mittelst eines Wassertropfens, und die Bewegung sich gründet, welche aus einer Aenderung des Unterstützungspunktes entsteht. Das Befeuchten eines Körpers durch einen andern ist nur eine Folge der Adhäsion; wo keine Adhäsion ist, findet dieses nicht statt. Darum fühlt sich Quecksilber trocken an, und aus einem Glase mit Wasser, dessen Oberfläche mit Bärlappsamen bedeckt ist, kann man eine Münze hervorholen, ohne sich den Finger zu benetzen. Die Adhäsion des Wassers scheint durch den Stoss vermehrt werden zu können, denn wenn man einen luftleeren Wasserhammer wiederholt schüttelt, so reisst sich das Wasser nicht mehr so leicht vom Glase los, als im Anfang.

§. 110.

Wenn Wasser in einem Gefäss steht, so verdunstet es. Ebenso verkleinert sich ein Wassertropfen. Die Atome an der Oberfläche können also entweder aus dem umgebenden Raum und dem Wasser, Aether oder Wärme aufnehmen und dadurch gasförmig werden, oder wie Andere glauben, die Abstossung ist an der Oberfläche der Flüssigkeit grösser als unmittelbar darunter. Jedenfalls findet auch bei der weitesten Ausdehnung der Oberfläche jene Spannung statt, die wir oben durch das Wort Flüssigkeitshäutchen bezeichneten. Es hat aber jede Flüssigkeit ein solches Häutchen, dessen Wirkungen jedoch nur bei der Berührung mit solchen Körpern deutlich hervortreten, an die sie nicht adhärirt. Giesst man z. B. Quecksilber in ein Glas, so wird es vermöge dieses Häutchens nicht in alle die kleinen Unebenheiten der Glasfläche hineingepresst. Es bleiben darum viele Zwischenräume, die man dadurch sichtbar machen kann, dass man Wasser auf das Quecksilber giesst, welches nun an dieses und das Glas adhärirend zwischen beiden eindringt. Die Spannung des Häutchens ist stets von solcher Art, dass der flüssige Körper Kugelgestalt anzunehmen sucht. Daher hält es z. B. schwer, enge Röhrchen mit Quecksilber zu füllen; ist dieses aber geschehen und das gefüllte Röhrchen wird horizontal gehalten, so tritt das Quecksilber an beiden Enden mit convexen Oberflächen hervor. Nachher bleibt es im Gleichgewicht, weil beide Spannungen an den Enden mit gleicher Stärke nach Innen wirken. Bringt man aber das eine Ende nun in Berührung mit einem auf dem Tisch liegenden Quecksilbertropfen, so hört an dieser Seite die Spannung auf, und die am andern Ende treibt die ganze Quecksilbersäule heraus. Auch die übrigen Me-

talle, wenn sie flüssig sind, haben eine solche Haut und berühren darum die Körper nicht vollkommen, an die sie nicht adhäriren, wie z. B. den eingetauchten Finger. Die Mittheilung der Wärme erfolgt darum auch langsamer, worüber später das Nähere vorkommen wird. Ebenso gründet sich hierauf das Schwimmen feiner Nadeln und Erdtheile, das Gehen gewisser Insekten auf Wasser, ehe sie benetzt werden, auch das Zurückbleiben einer kleinen Quecksilbermenge auf einem Florsieb, während Wasser, dessen Theilchen sich weniger anziehen, durchfällt.

Kleine Körper, welche an das Wasser nicht adhäriren, bilden kugelförmige Vertiefungen unter sich, die von ihrem Drucke und der Anziehung der Wassertheilchen zu einander herrühren. Wenn sie einander genähert werden, so scheinen sie sich anzuziehen, indem sie eine gemeinschaftliche Vertiefung bilden. Ebenso scheinen adhärirende, schwimmende Körperchen sich anzuziehen, indem die um jedes gebildete Erhöhung sich in eine einzige verwandelt. Ein an die Oberfläche adhärirendes und ein nicht adhärirendes Flüssigkeitstheilchen scheinen sich abzustossen. Eine ähnliche Anziehung und Abstossung äussert sich am Rande des Gefässes, in welchem sich die Flüssigkeit befindet, gegen schwimmende Körper.

§. 111.

Das Gesetz, dass Flüssigkeiten im Zustande der Ruhe eine horizontale Oberfläche haben müssen, wird durch die Adhäsion und die Flüssigkeitshaut modificirt. Eine Flüssigkeit, welche zu dem Gefässe Adhäsion hat, steigt am Rande empor. Im entgegengesetzten Falle steht sie am Rande tiefer als in der Mitte. Die Oberfläche wird darnach entweder concav, wie beim Wasser in Glas, oder convex, wie beim Quecksilber in Glas. Daher kommt es auch, dass Flüssigkeiten in engen Röhren (Haarröhrchen), welche man eintaucht, bald höher, bald niedriger stehen, als ausserhalb derselben. So lange, als die Röhre so weit ist, dass sich um die Mitte der eingeschlossenen Flüssigkeit noch eine ebene Fläche bilden kann, bleibt die Mitte im allgemeinen Niveau; sobald aber durch Verengerung derselben jene Ebene verschwindet, so erhebt sich die Flüssigkeit über das allgemeine Niveau, oder sie sinkt unter dasselbe. Man bemerkt, *dass das Emporsteigen im umgekehrten Verhältnisse mit dem Durchmesser der Röhren steht.* In einer Röhre von 1 Millimeter Durchmesser und bei 10° Wärme steigt z. B. das Wasser bis zur Höhe von 30 Millimeter, in einem Röhrchen von 2 Millimeter Durchmesser nur bis zu 15 Millimeter; dagegen in einem von $^1/_{10}$ Millimeter Durchmesser bis zu 300 Millimeter Höhe. Ebenso steht in einer Glasröhre, deren Durchmesser halb so gross ist als der Durchmesser einer andern, das Quecksilber zwar tiefer aber nicht gerade doppelt so tief unter der Oberfläche als in jener. Von allen Flüssigkeiten steigt übrigens bei gleichem Durchmesser der Röhre das Wasser am höchsten. Die Dicke der Seitenwände hat auf die Höhe keinen Einfluss; eben so wenig die Materie der Röhre, also rührt diese Erscheinung nur von der Molekular-Anziehung her. Eine Temperaturvermehrung hat dagegen die Wirkung, dass sie das Aufsteigen proportional der Temperatur-Zunahme vermindert. Das Gleiche findet nach *Bède* statt, wenn nur die Wärme der obern Gränze der Wassersäule zunimmt. Die Schnelligkeit, mit welcher das Aufsteigen erfolgt, ist um so grösser, je enger die Röhre ist.

Die Höhe der aufgestiegenen Wassersäule misst man mit dem Kathetometer. Nach *Frankenheim* erreicht in einer Röhre von 1 Millim. Durchmesser das Wasser 30.7 Millim., Schwefelsäure 20,12, Alkohol 12,4, Aether 10,8 Millim. Höhe. Nach

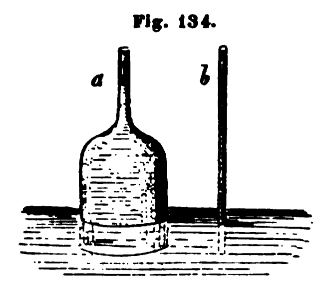


Fig. 134.

Simon gilt bei weitern Röhren obiges Gesetz nicht in aller Strenge.

In der engen Röhre *a*, Fig. 134, die unten zu einer Glocke erweitert ist, steht vermöge der Capillarität das Wasser eben so hoch, als in der gleichweiten Röhre *b*.

§. 112.

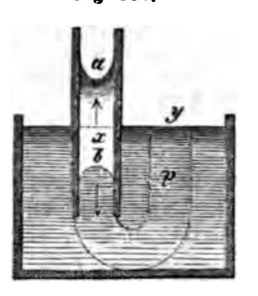


Fig. 135.

Um sich diese besondern Wirkungen der Adhäsion, welche man Capillaritäts-Erscheinungen nennt, zu erklären, nehme man an, *a b*, Fig. 135, sei ein Glasröhrchen und *x y* das Niveau einer Flüssigkeit, so wird diese, wenn sie adhärirt, eine concave Oberfläche *a*, und im entgegengesetzten Fall die convexe Fläche *b* bilden. In beiden Fällen kann man sich einen Kanal *a x p y* denken, in welchem Alles im Gleichgewicht ist. Bei dem Eintauchen der Röhre in Quecksilber wird die Flüssigkeitshaut hinabgedrückt, und indem sie das Glas nicht berührt, wirkt die Anziehung desselben nur unmerklich darauf. Es wird darum durch die Spannung des Häutchens bei *b* nur der Druck der Quecksilbersäule *p y* aufgehoben. Je enger die Röhre ist, desto mehr widersteht das Quecksilber vermöge jener Spannung dem Eindringen in die Röhre, und desto höher muss also die Säule *p y* sein, die ihr das Gleichgewicht hält. Wenn aber eine Flüssigkeit an das Glas adhärirt und man annimmt, in dem Röhrchen *m d*, Fig. 136, sei *m n c d* die gehobene Wassersäule, so findet man leicht, dass sie durch drei Kräfte herabgezogen wird: 1) durch ihr Gewicht, welches *P* heissen mag, 2) durch die Anziehung der unter ihr befindlichen Wassermasse *c d p q*, und 3) durch die Anziehung der diese letzte Masse umgebenden Wassertheilchen. Diese heisse *Q*. Da die Anziehung von *c d p q* auf *c d* eben so stark ist als die von *m n c d* auf *c d*, so heben sich diese beiden auf, und die herabziehende Kraft ist daher $P + Q$. Nennt man die anziehende Kraft des Glases in *c d* auf die Wassertheilchen *R*, und berücksichtigt man, dass jedes Wassertheilchen *x* im Innern der gehobenen Wassersäule *m n c d* eben so stark nach unten als nach oben gezogen wird, so sieht man ein, dass die Wand nur noch einmal erhebend wirken kann, nämlich in *m n*. Die Röhre zieht also aufwärts mit der Kraft $2R$, und desshalb muss für den Zustand des Gleichgewichts die aufwärts wirkende Kraft $2R$ der abwärts ziehenden Kraft $P + Q$ gleich sein.

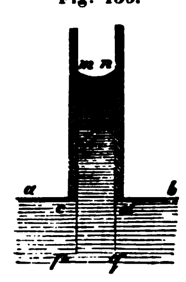


Fig. 136.

Die von dem Glase, so wie von der Flüssigkeit herrührende Anziehung wirkt nur auf sehr kleine Entfernungen, und desshalb wollen wir annehmen, die Kräfte *R* und *Q* seien nur durch die Intensität verschieden, mit welcher ein jedes Atom durch ein anderes angezogen wird. Die Anziehung eines Flüssigkeitstheilchen gegen ein *Glastheilchen heisse a*, und die jedes Flüssigkeitstheilchens gegen sein nächstes *q*;

ferner der Durchmesser der Röhre d, so ist die Gesammtheit der Berührungspunkte in dem Umkreise cd gleich πd, also die ganze Anziehung

$$R = \pi d a; \text{ ebenso ist } Q = \pi d q.$$

Wenn aber die Länge der gehobenen Wassersäule $= h$ ist, so ist ihr Inhalt $= \frac{\pi d^2 h}{4}$ und eben so gross ist ihr Gewicht P, wenn das spezifische Gewicht des Wassers gleich 1 gesetzt wird. Für den Zustand des Gleichgewichtes muss nun nach dem Obigen $2R = P + Q$ oder $2\pi d a = \frac{\pi d^2 h}{4} + \pi d q$ sein; also ist

$$h = \frac{(2a - q) \cdot 4}{d};$$

h ist also um so kleiner, je grösser der Durchmesser d ist.

Auch die wechselseitige Anziehung zweier freihängenden parallelen Platten, die nahe an einander in einer Flüssigkeit aufgehängt sind, ist eine Folge der Capillarität.

Da R um so schwächer ist, in je weniger Punkten die Wasser- und Glastheilchen sich berühren, so folgt auch, dass sich zwischen zwei parallelen und senkrecht stehenden Flächen das Wasser nur ohngefähr halb so hoch heben müsse, als in einem cylindrischen Haarröhrchen, dessen innere Weite dem Abstande jener Flächen gleich ist. Sind die Glasplatten unter einem spitzen Winkel geneigt, so steigt das Wasser nach dem Scheitel desselben und bildet eine Hyperbel.

Die Harröhrchen-Anziehung ist die Ursache sehr vieler Erscheinungen. In den Pflanzen-Zellen steigen die Säfte mit grosser Kraft in die Höhe, indem diese Gefässe einen Durchmesser haben, welcher noch kleiner als 0,01 Millimeter ist. Die Bewegungen, welche man in dem Safte eingeschlossener Zellen bemerkt, rühren wahrscheinlich von dieser Anziehung her. Trockene Keile von Holz, welche in eine Felsenspalte getrieben sind, werden durch das Emporsteigen des Wassers in ihren Poren so ausgedehnt, dass der Felsen dadurch gespalten werden kann. Seile werden dadurch mit grosser Kraft verkürzt; Papier, feuchter Sand, Thon, Zucker, Baumwolle u. dgl. ziehen Flüssigkeiten empor. Das Effloresciren von Salzen ist gleichfalls eine Folge der Capillarität. Indem eine Auflösung derselben an feuchten Wänden emporsteigt, verdampft das Wasser, und das Salz setzt sich an den Wänden als ein Mittel an, das Emporsteigen noch mehr zu befördern.

Schönbein hat die Entdeckung gemacht, dass durch die Capillarität eine theilweise Trennung der verschiedenen Bestandtheile einer gemischten Flüssigkeit vor sich geht. Taucht man z. B. einen Streifen Fliesspapier in durch Schwefelsäure rothgefärbte Lackmustinctur einige Linien weit ein, so bemerkt man bald drei Schichten. Die oberste ist reines Wasser, die zweite verdünnte Schwefelsäure und die dritte rother Lackmus.

Goppelsröder hat mit Hilfe dieses Verfahrens mehrere Farbstoffe in ihren Gemischen erkannt. Auch die *Dendritenbildung* scheint damit im Zusammenhang zu stehen. Bringt man nach *C. Schimper* auf feuchte Thonerde, die auf einer Ebene ausgebreitet ist, einen Tropfen gefärbter Säure, so drängt diese das Wasser des Thons von dem Centrum weg. Dieses bildet durch die Strömung Rinnen, in welchen der Farbstoff sitzen bleibt, und dadurch Figuren wie die Dendriten bildet. Sie gehen nicht bis an den Rand des Thons, weil dort das Wasser einen Wall bildet.

Die Capillarität ist ferner die Ursache, dass wenn ein poröser Körper wie Kreide und Gyps oder auch Erde in einer porösen Thonzelle, in Wasser eingetaucht wird und dieses nun in die feinen Zwischenräume eindringt, die eingeschlossene Luft nach innen gedrängt wird und dort eine 4- bis 5fache Dichte und Spannkraft erlangt. *Jamin* hat diess nachgewiesen, indem er ein Manometer in Blöcke von Kreide u. s. w. kittete, und wahrscheinlich gemacht, dass ein auf diese Art entstandener Druck auf die Wurzeln, das Emporsteigen des Saftes in den Pflanzen befördert.

§. 113.

Die von *N. Fischer* gemachten und von *Dutrochet* weiter geführten Entdeckungen, welche dieser mit dem Namen *Endosmose* und *Exosmose* belegt hat, gehören zum Theil ebenfalls hierher. Wenn man nämlich zu einer concentrirten Auflösung einer Substanz in Wasser noch mehr

reines Wasser zusetzt, so zieht dieses nach und nach die aufgelösten Theilchen an, bis sie in der ganzen Wassermasse gleichförmig vertheilt sind. Müssen aber die Auflösung und das Wasser, um sich mit einander zu verbinden, vorher durch einen capillaren Körper, z. B. eine Blase gehen, so wird diese von jedem der getrennten Stoffe durch Molekular-Anziehung etwas in sich aufnehmen; die aufgenommene oder resorbirte Substanz wird aber nach der andern Seite durch die chemische Anziehung den Poren der Blase wieder entzogen. Diess dauert so lange fort, bis die Flüssigkeiten auf beiden Seiten gleiche Beschaffenheit haben. Füllt man z. B. eine Glasröhre zum Theil mit einer concentrirten Auflösung von Kupfer-Vitriol und bindet sie mit einer Blase zu, kehrt nun die Röhre um und bringt die verschlossene Oeffnung unter die Oberfläche eines mit Wasser gefüllten Gefässes, so steht nach einiger Zeit die Flüssigkeit im Glasrohre höher als im Gefässe, wenn sie auch vorher niedriger stand. Es ist also Wasser eingedrungen, aber auch Kupferauflösung ist zu dem Wasser durchgedrungen, wie die Färbung desselben beweist. Ebenso stellt sich in einer mit Alkohol gefüllten Röhre, welche mit ihrem durch eine Blase verschlossenen Ende in Wasser getaucht wird, allmälig die Flüssigkeit höher als aussen.

Nach den Versuchen von *Vierordt* nimmt bei verschiedenen Lösungen eines Körpers die Menge des zum Wasser in einer bestimmten Zeit übergehenden Stoffes bei wachsender Dichtigkeit der Lösung zu, und *Jolly* hat für einzelne Fälle nachgewiesen, dass für die durch die Blase gegangene Gewichtsmenge a des aufgelösten Stoffes stets eine von der Natur desselben abhängige Gewichtsmenge $a\ .\ M$ des Wassers wieder eintritt. Diese Zahl M nennt er das *endosmotische Aequivalent* des Stoffes.

Zu den Versuchen von *Dutrochet* nimmt man am besten eine Glasröhre, welche sich trichterförmig endigt. Der Trichter ist ausgeschweift, so dass man eine Blase darüber spannen kann. Befindet sich aussen eine schwache Gummilösung und innen eine Zuckerlösung von gleichem spezifischen Gewichte, so steigt letztere bald um einige Zolle, indem Wasser zu ihr durchdringt. — Eine Blase oder ein Darmstück, welches mit Hühnereiweiss locker angefüllt ist, schwillt, in Wasser gelegt, auf's stärkste und berstet zuletzt. Sehr deutlich sieht man das gegenseitige Durchdringen bei Anwendung einer Lösung von Eisenchlorid und von Schwefelcyankalium, indem beide sich bald blutroth färben. Die Endosmose spielt vielleicht in dem thierischen Körper eine sehr wichtige Rolle, besonders hinsichtlich der Ernährung, des Blutumlaufs u. s. w.

Zu quantitativen Untersuchungen über die Endosmose ist die Methode von *Jolly* am besten. Nach ihm wird die Menge des aus der Röhre durch die Blase getretenen Stoffes und die des Wassers, welches dafür eingetreten ist, durch das Gewicht bestimmt. Das durch eine Blase geschlossene Rohr mit der Lösung befindet sich nämlich in einer grösseren Menge destillirten Wassers, die von Zeit zu Zeit erneuert wird, bis die Lösung im Rohr so verdünnt ist, dass sie dem destillirten Wasser gleicht. Auf diese Art wurde z. B. 1 Gr. Kochsalz, welches in der Röhre war, jedesmal ersetzt durch ohngefähr 4,5 Gr. Wasser.

§. 114.

Graham hat die Verbreitung einer aufgelösten Substanz in Wasser oder in einer andern Flüssigkeit, mit welcher sie in unmittelbarer Berührung steht und von der sie nicht durch eine Haut getrennt ist, näher untersucht. Er stellte Flaschen, die mit der Lösung gefüllt und oben offen waren, in grössere Glasgefässe, füllte diese behutsam mit Wasser,

bis dieses die Oeffnung des ersten Glases einen Zoll hoch überdeckte, und untersuchte nach längerer Zeit, wie viel von der Lösung in das Wasser übergegangen war. Er fand, dass die Verbreitung der verschiedenen Lösungen in dem Wasser mit sehr ungleicher Geschwindigkeit geschieht, und dass desshalb jedem Körper ein eigenthümliches Verbreitungs- oder *Diffusions-Vermögen* zugeschrieben werden muss. Wird darum in das Wasser eine Flasche mit einer gemischten Lösung gebracht, deren einer Bestandtheil schneller diffundirt als der andere, so muss sich nach einiger Zeit in verschiedenen Entfernungen von dem Glas der diffusiblere Stoff in grösserer Menge vorfinden, als der andere; ja es können sogar, durch diese mechanische Wirkung der leichtern Verbreitung, Trennungen der chemisch verbundenen Bestandtheile eines Körpers erfolgen.

Diese *Flaschen-Diffusion* wendete *Graham* hauptsächlich auf die Trennung ungleich diffusiver *Krystalloïde* an. Er fand aber dabei, dass man in chemischer Beziehung noch eine zweite Klasse von festen Körpern, die nur schwache Diffusibilität besitzt, unterscheiden müsse und die er Colloïde nennt, weil sie mit der thierischen Gallerte Aehnlichkeit haben. Ihre Structur ist glasartig und sie werden nur durch eine schwache Kraft in Lösung erhalten. Es gehören dazu Kieselsäure, Stärkmehl, Gummiarten, Eiweiss und organische Extractivstoffe. Folgender Versuch zeigt, dass eine unlösliche colloïdale Substanz ein Mittel ist, ein Krystalloïd von einem Colloïd durch Diffusion zu trennen: Man überzieht einen kleinen Reif von Guttapercha auf der einen Seite mit Pergamentpapier (dem durch Schwefelsäure verwandelten Papier), so wird ein siebartiges Gefäss von einem oder mehr Zoll Tiefe gebildet. Während dieses auf einem mit Wasser gefüllten Gefässe schwimmt, giesst man eine gemischte Lösung von Zucker und Gummi in das Sieb. Der Zucker diffundirt dann *allein* in das Wasser, und der Gummi bleibt zurück. Diese trennende Wirkung der Scheidewand, die sich in vielen Fällen höchst nützlich erweist, wird *Dialyse* genannt, und scheint darauf zu beruhen, dass die colloïdale Substanz, hier der Gummi, die Kraft nicht hat, das Wasser der Scheidewand von ihr abzuscheiden.

§. 115.

Die absolute Verschiebbarkeit der Flüssigkeitstheilchen wird aber nicht nur an der Oberfläche unvollkommen gefunden, sondern auch bei manchen Körpern in ihrem Innern. Dieser Zustand scheint daher zu rühren, dass sich die Natur dieser flüssigen Körper der Natur der festen nähert, indem die Anziehungskraft der Massentheilchen sich weiter als bei den flüssigen Körpern erstreckt. Am flüssigsten ist die Schwefelwasserstoffsäure; weniger: Wasser, Oel, Honig, Fett.

§. 116.

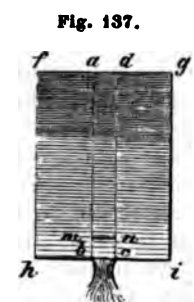
Den meisten Einfluss zeigen die in dem Vorhergehenden beschriebenen Wirkungen der Adhäsion und Schwerflüssigkeit bei der *Bewegung* flüssiger Körper. Sie veranlassen Bewegungen im Innern, welche die Theorie ungemein erschweren, und bis jetzt eine vollkommene Uebereinstimmung derselben mit der Erfahrung nicht zuliessen.

Um die Wassermenge zu finden, welche aus der Oeffnung eines Gefässes abfliesst oder durch irgend einen Querschnitt geht, muss man eine gewisse Zeit als Einheit annehmen; gewöhnlich ist diese Einheit eine Sekunde. Ist nun die Geschwindigkeit des fliessenden Wassers bekannt, so findet man die Menge des in jener Zeiteinheit durch einen gegebenen Querschnitt fliessenden Wassers, indem man die Geschwindigkeit mit dem Flächeninhalte des Querschnitts multiplicirt. Es sei z. B. die Geschwindigkeit gleich 3 Fuss und die Grösse des Querschnitts gleich 4 Quadratfuss, so gehen durch diesen in 1 Sekunde 12 Kubikfuss Wasser.

§. 117.

Die Geschwindigkeit, mit welcher eine Flüssigkeit aus dem Boden eines Gefässes $fgih$, Fig. 137, durch die Oeffnung bc ausfliesst, wenn das Gefäss immer voll erhalten wird, hängt von dem Drucke ab, welchen das Wassertheilchen $bmnc$ auf den Boden bc ausübt. Dieser Druck wird z. B. 100mal grösser als das Gewicht von $bmnc$, wenn ab oder die Druckhöhe 100mal grösser ist als bm. Die beschleunigende Kraft, welche das Wassertheilchen $bmnc$ bewegt, sei alsdann $= g'$, so ist nach §. 71 $g' = 100 \,.\, 9{,}81$. Nun kann man annehmen, dass diese Kraft sich nicht ändert, während das Wassertheilchen $bmnc$ durch einen sehr kleinen Raum bm fällt, oder in der Zeit, in welcher sein Ende sich von m bis b bewegt. Die Geschwindigkeit, die es dadurch erlangt, ist aber nach §. 72 gleich $\sqrt{2g'bm}$, und da $g' = 100 \,.\, 9{,}81$, so ist sie $= \sqrt{2 \,.\, 100 \,.\, 9{,}81 \,.\, bm}$. Da aber $100 \,.\, bm = ab$, so kann sie auch ausgedrückt werden durch $\sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, ab}$ oder *das Wasser hat in der Mündung dieselbe Ausflussgeschwindigkeit wie ein Körper, der von der Höhe ab herabgefallen ist.* Für verschiedene Druckhöhen und gleiche Oeffnungen müssen sich also die Geschwindigkeiten und folglich auch die Ausflussmengen wie die *Quadratwurzeln dieser Höhen verhalten.* Dieser Satz wird auch, insofern er nur das *Verhältniss* der Geschwindigkeiten ausdrückt, durch die Erfahrung vollkommen bestätigt; keineswegs ist aber die einer bestimmten Druckhöhe entsprechende Ausflussmenge der berechneten gleich; es muss also ein constantes Verhältniss geben, in welchem die berechneten zu den wirklichen Ausflussmengen stehen. Aus dem obigen Gesetz folgt auch, dass z. B. Wasser und Quecksilber bei gleicher Druckhöhe mit gleicher Geschwindigkeit ausfliessen.

Fig. 137.



Nach *Eytelwein* ist das Verhältniss der berechneten Ausflussmenge zur wirklichen, beim Ausfluss des Wassers durch Oeffnungen in einer dünnen Wand, wie 1 zu 0,619. Nach einigen neuern Versuchen wie 1 zu 0,621 bis 0,645. Ist daher die Druckhöhe h, und der Querschnitt der Oeffnung q, so ist die berechnete Ausflussmenge $s = q\sqrt{2gh}$ und die wirkliche $= 0{,}621 \,.\, q\sqrt{2gh}$.

Nach *Weissbach* und *Poncelet* nimmt der Ausflusscoëfficient bei kleiner Oeffnung mit wachsendem Druck ab und bei grosser Oeffnung zu.

Um nachzuweisen, dass die Ausflussmengen sich wie die **Quadratwurzeln der** Druckhöhen verhalten, dient der Apparat Fig. 138. ab ist ein **blecherner Cylinder** Meter Höhe, der oben offen ist und zur Seite gleichweite **Ausflussöffnungen**

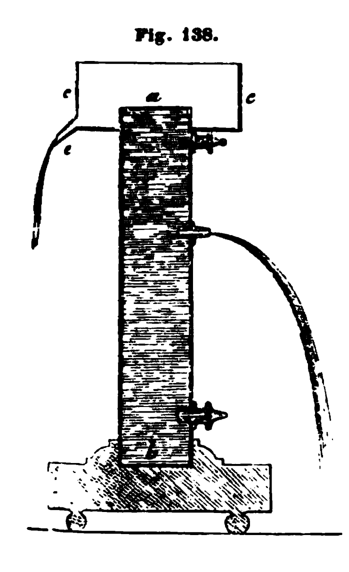


Fig. 138.

in 10, 40, 90 Centim. Tiefe hat. Er ist von einem weitern cylindrischen Gefäss *c c* umgeben, welches zur Seite ein Ausflussrohr hat. Damit die Druckhöhe unverändert bleibt, giesst man fortwährend Wasser in den Cylinder *ab*; das überflüssige fliesst durch die Seitenröhre *e* ab. Die Ausflussöffnungen können durch kleine Messingkapseln verschlossen werden. Statt der Ausflussöffnungen kann man auch kurze Röhren anschrauben, deren Oeffnung nach oben geht, um Versuche über Springbrunnen anzustellen.

Wenn Wasser durch einen schwimmenden Heber aus einem Gefässe abfliesst, hat es stets gleiche Geschwindigkeit. Hierauf beruht *Hero's* Wasseruhr. *Kater* hat zur Bestimmung kleiner Zeittheile in neuerer Zeit eine Quecksilber-Uhr vorgeschlagen, welche der vorigen ähnlich ist. Die Minuten- und Sekundengläser der Schiffer sind Sanduhren, die sich auf die Wahrnehmung *Huber Burnand's* gründen, dass die Sandmenge, welche in einer gegebenen Zeit durch eine Oeffnung fliesst, sowohl dem Raume als Gewichte nach ganz gleich bleibt, wenn auch die Druckhöhe des Sandes verschieden ist.

§. 118.

Wenn in dem vorigen Gefäss, Fig. 137, kein Wasser nachgegossen wird, so sinken im Anfang die verschiedenen horizontalen Wasserschichten mit ziemlich gleicher Geschwindigkeit herab; dann nehmen sie eine sehr beschleunigte Bewegung an, und wenn die Druckhöhe sehr abgenommen hat, so bildet sich über der Oeffnung eine trichterförmige Vertiefung, so dass der ausfliessende Strahl öfters hohl ist. Dabei hat zuweilen das Wasser eine wirbelnde Bewegung, die man durch Beimengung kleiner Bernsteintheilchen sichtbar machen kann. Aber auch bei gleichem Stande der Oberfläche kann in einer Seitenöffnung nicht überall gleiche Geschwindigkeit stattfinden, weil nicht allen Theilen derselben gleiche Druckhöhe zukommt. Man nimmt darum in Seitenöffnungen gewöhnlich eine mittlere Geschwindigkeit an, bei welcher aus derselben Oeffnung dieselbe Wassermenge fliessen würde. Wenn die Oeffnung am Boden angebracht wird, so ist selbst in dieser nicht überall gleiche Geschwindigkeit zu bemerken, indem die Wassertheilchen am Rande ihre Adhäsion überwinden müssen und das Wasser von allen Seiten sich nach der Oeffnung bewegt, also die geradlinigt herausfallenden Wassertheilchen ablenkt. Dabei nimmt die Fallgeschwindigkeit des Wassers ebenfalls zu, und es muss darum eine *Zusammenziehung des Strahls erfolgen.* Nach *Savart* wächst sie mit der Länge des Strahls; in grössern Entfernungen nimmt sie aber nur unmerklich zu. Diese Zusammenziehung des Strahles ist die Ursache der im vorigen §. erwähnten Verminderung der Ausflussmenge.

In einem Abstand von der kreisförmigen Oeffnung, welche dem Durchmesser derselben gleich ist, beträgt ein Querschnitt des Strahls nur noch 0,62 bis 0,64 von der Ausflussmündung, und durch diese geht also das Wasser mit der im vorigen §. berechneten theoretischen Geschwindigkeit.

Bringt man an dem Boden des Gefässes einen vertikalen Cylinder oder prismatischen Kanal an, dessen Länge den Durchmesser der Oeffnung zwei- bis dreimal übertrifft, so ist der Ausfluss-Coëfficient 0,82. Ist die Ausflussöffnung von der Gestalt des zusammengezogenen Strahls, also ein kurzer konischer Kanal, der sich nach unten verengt, so ist die wirkliche Ausflussmenge der theoretischen gleich, wenn man nicht die obere, sondern die untere Oeffnung in Rechnung bringt.

Bei quadratischen Oeffnungen ändert die Zusammenziehung den Strahl so, dass die Mitte von den Seiten der Oeffnung in gleiche Richtung mit den Ecken vom Querschnitt des zusammengezogenen Strahles fällt. Dabei drehen sich die Winkelspitzen des Strahles schraubenförmig um die Achse desselben.

Wenn zwei Wasserstrahlen von gleichem Durchmesser und gleichem Druck in gerader, aber entgegengesetzter Richtung auf einander treffen, so bildet sich nach *Savart* eine fast kreisrunde durchsichtige Scheibe; wobei offenbar die Wasserhaut im Spiele ist. In regelmässigen Abständen zieht sich diese am Rand zu radialen Strahlen zusammen.

Fig. 139. Fig. 140.

Bei vollkommener Ruhe und Vermeidung aller drehenden Bewegung fällt durch eine 2 bis 3 Millimeter weite kreisförmige Oeffnung der Bodenplatte eines Wassergefässes der Flüssigkeitsstrahl im Anfang ruhig und durchsichtig herab, wird immer dünner und löst sich zuletzt in einzelne Tröpfchen auf. So bald aber äussere Veranlassungen wiederkehrende Störungen bewirken, so entstehen im untern Theil *Bäuche* wie in Fig. 139. Diese werden besonders regelmässig durch den Ton einer Stimmgabel, eines elektromagnetischen Hammers oder einer Saite. *Savart* hat zuerst beobachtet, dass diese Bäuche aus einzelnen Wassertropfen bestehen, welche sich wie in Fig. 140 periodisch in die Breite und Länge ausdehnen und zuweilen selbst einen leisen Ton erzeugen. *Magnus* hat nachgewiesen, dass die Schwingungen dem Flüssigkeitsstrahl nicht durch die Luft, sondern von dem tönenden Körper dem Wassergefäss und der Bodenplatte und dadurch erst dem Wasser mitgetheilt werden. Je stärker der Ton ist, desto näher an der Ausflussmündung fangen die Bäuche an. Die durch die Mitte der Bäuche in Fig. 139 gehende Linie rührt von der Bewegung kleinerer Wassertröpfchen her.

Indem ein Wasserstrahl in einem Rohr herabfällt und sich durch den Widerstand der Luft vertheilt, reisst er bei hinreichender Stärke die Luft mit hinab; sind daher Oeffnungen an der Seite der Röhre angebracht, durch welche auf's neue Luft einströmen kann, so wird auch diese mit fortgerissen und trägt zur Verdichtung der in einem untergestellten Gefäss befindlichen Luft bei. Hierauf beruht das *Wassertrommel-Gebläse.*

§. 119.

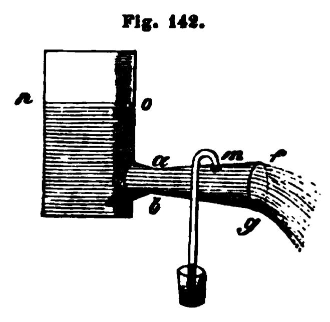
Durch konische Ansatzröhren, wie *abcd* in Fig. 141, wird die Menge des ausfliessenden Wassers nur insoferne vermehrt, als die Oeffnung *ab* an der Stelle von *cd* eine kleinere Wassermenge geben würde. *Venturi* gab einer solchen Röhre eine Länge von 11 Linien, und bei der Ausmündung 14 ½ Linien Durchmesser, während der Durchmesser am Gefässe 18 Linien betrug, und fand, dass die ausströmende Wassermenge hiedurch ohngefähr $\frac{30}{31}$ von der berechneten wird. Der Unterschied, welcher noch besteht, scheint nur von der Adhäsion der Wassertheilchen an die Röhre selbst herzurühren. Noch stärker wird die Ausflussmenge, wenn man an die eben beschriebene Röhre *abcd*, Fig. 141, eine andere Röhre ansetzt, welche sich nach aussen erweitert, wie Fig. 142. Bei zweckmässiger Einrichtung derselben fand *Venturi* und *Eytelwein*, dass die Menge des durch eine solche

Fig. 141.

Röhre fliessenden Wassers um die Hälfte grösser ist als die, welche man erhielte, wenn das Wasser wie ein freifallender Körper beschleunigt würde.

Die Ursache obiger Erscheinung liegt darin, dass sich die Röhre *abfg*, Figur 142, mit Wasser anfüllt, dessen Geschwindigkeit durch den Stoss der nachfolgenden Wassertheilchen beinahe der Geschwindigkeit des durch *ab* fliessenden Wassers gleich wird. Es müsste also hinter den Wassertheilchen bei *m* ein leerer Raum entstehen, wenn nicht die Wassertheilchen in *ab* vermöge des Luftdrucks diesen durch ihre grössere Geschwindigkeit auszufüllen strebten. Dass diess wirklich der Grund ist, sieht man daran, dass in einem krummgebogenen Röhrchen *m*, welches an die Ansatzröhre befestigt ist, eine gefärbte Flüssigkeit emporsteigt, und dass im luftleeren Raum die Menge des ausfliessenden Wassers durch Ansatzröhren nicht vermehrt wird. Dass bei dem Fliessen das Wasser einen geringeren Seitendruck ausübt als das ruhende Wasser, hat *Magnus* durch Versuche bewiesen.

Fig. 142.



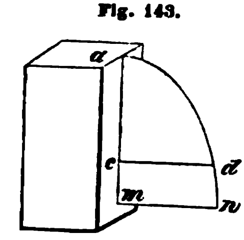
Wenn die Geschwindigkeiten in einer Oeffnung sehr verschieden sind, wie bei einem Gefäss, Fig. 143, in welchem das Wasser durch die ganze Seitenwand fliesst, während das Gefäss immer voll erhalten wird, so findet man die Ausflussmenge auf folgende Art: In irgend einer Tiefe $ac = x$ ist die Geschwindigkeit $c = \sqrt{2gx}$. Macht man die zu *ac* senkrechte Linie *cd* gleich dieser Geschwindigkeit, und nennt man sie y, so ist $y = \sqrt{2gx}$ oder $y^2 = 2gx$, welches die Gleichung für eine Parabel ist. Werden also die Geschwindigkeiten in verschiedener Tiefe bis zur grössten in *m*, wo $am = h$, auf gleiche Art durch senkrechte Linien ausgedrückt, so entsteht dadurch die Parabelfläche *adnm*, wie in §. 91 beim Wurf. Wird der Inhalt dieser Fläche, welcher

$$= \frac{2h}{3} \cdot \sqrt{2gh}$$

ist, mit der Breite der Oeffnung multiplicirt, so erhält man die theoretische Menge des in einer Sekunde ausfliessenden Wassers, oder

$$q = {}^2/_3\, bh\, \sqrt{2gh}.$$

Fig. 143.



Nach *Daubuisson* ist die wirkliche, durch Senkung der Oberfläche und Contraction verminderte Ausflussmenge nur

$$q = 0{,}443\, b\, h\, \sqrt{2gh},$$

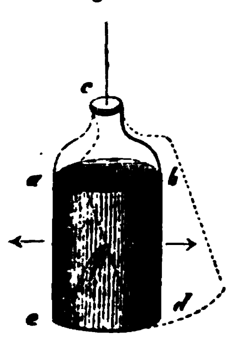
doch ändert sich auch dieser Coëfficient bei verschiedenen Druckhöhen und Oeffnungen. Diese Formel dient auch zur Bestimmung der Wasserkräfte eines Baches, indem man das Wasser desselben schwellt und durch ein Schutzbrett in eine davor befindliche Vertiefung fallen lässt.



§. 120.

Ein freihängendes Gefäss *abed*, Fig. 144, welches mit Wasser angefüllt ist, wird eine solche Lage annehmen müssen, dass der Schwerpunkt der ganzen Masse gerade unter dem Unterstützungspunkt sich befindet. Im Zustand der Ruhe wird der Druck, welchen die Flüssigkeit in *p* nach der Richtung des Pfeiles auf die Wand des Gefässes ausübt, durch den entgegengesetzten Druck bei *q* aufgehoben. Wenn aber nun bei *q* eine Oeffnung entsteht, durch welche die Flüssigkeit ausströmen kann, so muss nach der Richtung des Pfeiles bei

Fig. 144.



p eine Bewegung erfolgen. Darauf beruht unter Andern das *Segner*'sche Wasserrad, das *Althaus*'sche Reactionsrad und die *Turbine.*

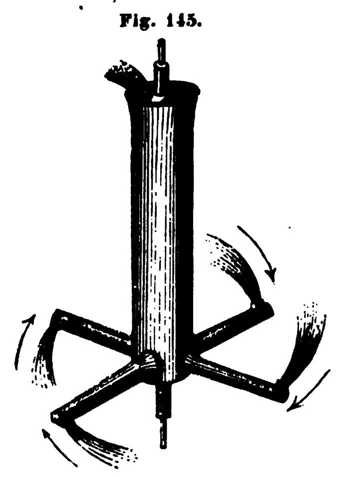


Fig. 145.

Das *Segner*'sche Wasserrad, Fig. 145, besteht aus einem cylindrischen Gefäss, welches um eine vertikale Achse beweglich ist und am Boden mehrere horizontale Röhren trägt, welche mit Ausflussöffnungen nach einer Seite hin versehen sind. Wird das Gefäss mit Wasser gefüllt, so dreht es sich in einer der Richtung des ausfliessenden Wassers entgegengesetzten Richtung. An den *Turbinen,* die jetzt mit grossem Vortheil statt der Wasserräder angewendet werden, fliesst das Wasser durch gekrümmte Kanälchen ab, die um den untern Theil des Gefässes einen Kranz bilden. Bei der *Fourneyron*'schen Turbine dreht sich dieser Kranz in einem zweiten feststehenden Kranze, dessen Kanäle im entgegengesetzten Sinne gekrümmt sind. Bei dem *Althaus*'schen Reactionsrad wird das Wasser von unten in die Ausflussröhren geleitet, damit die Achse desselben ein geringeres Gewicht als bei dem Segner'schen Rad zu tragen hat.

§. 121.

Die Menge des Wassers, welches durch Röhrenleitungen fliesst, wird durch die Krümmung derselben, die Adhäsion der Wassertheilchen und durch die nach §. 98 unter den Wassertheilchen selbst entstehende Reibung vermindert, weil ihre Geschwindigkeit nicht in allen Punkten eines Querschnitts die gleiche ist. Unter sonst gleichen Umständen fliesst weit mehr warmes als kaltes Wasser durch eine Röhre, und bei engen Röhren kann der Unterschied so beträchtlich werden, dass drei- bis viermal mehr Wasser von 100^0 durchfliesst, als von 0^0 Wärme. Alkohol fliesst nach *Faraday* bei 110^0 Kälte wie Oel. In Röhren, an welche die Flüssigkeit nicht adhärirt, wie z. B. wenn man Quecksilber in enge Glasröhren leitet, hört bei geringem Druck das Quecksilber sogar auf durchzufliessen.

Diese verschiedenen Ursachen vermindern auch die Höhe des springenden Strahles an Fontainen, welche der Theorie gemäss, der Druckhöhe gleich sein sollte. Man kann durch ein zweckmässiges Verhältniss der Weite der Röhre zur Oeffnung der Fontaine, und dadurch, dass man die Röhre durch eine dünne ebene Platte schliesst, und in dieser die kreisförmige Oeffnung anbringt, die Strahlhöhe vergrössern, jedoch nie bis zur Druckhöhe steigern.

Nach *Prony* findet man die mittlere, in Metern ausgedrückte Geschwindigkeit u des Wassers in einer gusseisernen Röhre, deren Länge l und Durchmesser d ist, unter dem Drucke p, durch die Formel: $u = 26{,}79 \sqrt{\frac{d\,p}{l}}$. In den Betten der Flüsse ist die Geschwindigkeit des Wassers sehr ungleichförmig. Bei regelmässigen, geraden Kanälen ist die Geschwindigkeit in der Mitte der Oberfläche am grössten, und die mittlere Geschwindigkeit eines Querschnitts gleich 0,8 von diesem Maximum.

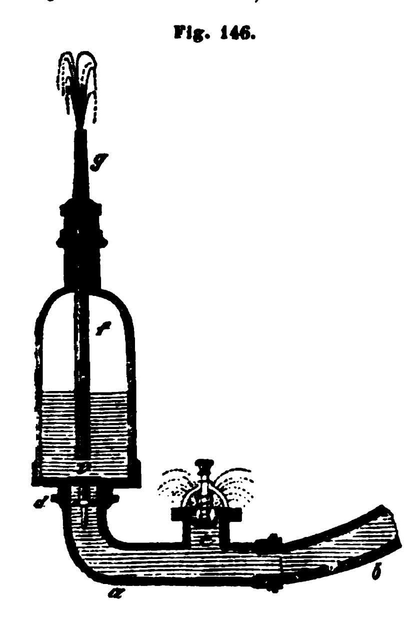
§. 122.

Die Wirkungsfähigkeit einer bewegten Wassermasse, deren Gewicht $= P$ und deren Geschwindigkeit $= C$, ist nach §. 75 $= \frac{P\,C^2}{2\,.\,9{,}81}$ *und*

wächst also mit der Menge des in einer Sekunde zum Stoss kommenden Wassers und mit dem Quadrat der Geschwindigkeit. Diese Wirkung geht zum Theil verloren, wenn der gestossene Körper selbst eine Bewegung nach gleicher Richtung hat. Dasselbe gilt auch für den Widerstand, welchen bewegte Körper im ruhigen oder bewegten Wasser finden. Die Wirkung des Stosses wird vermehrt, wenn man die gestossene Fläche über den Querschnitt des Wassers vergrössert, und kann dann fast bis auf's Doppelte steigen. Häufig benutzt man auch noch das Gewicht des Wassers, wie bei Mühlen, um die Wirkung zu vergrössern.

Wenn ein Fluss einen Querschnitt von 3 □Meter und eine mittlere Geschwindigkeit von 2 M. hat, so ist die Wirkungsfähigkeit der in jeder Sekunde vorbeifliessenden Wassermenge von 6 Kubikmeter oder 6000 Kilogr. $= \frac{6000 \cdot 4}{2 \cdot 9,81 \cdot 70}$ oder 17 Pferdekräften. Wird aber dieser Fluss gespannt durch ein Mühlwehr, so dass obige 6000 Kilogr. Wasser 2 Meter hoch herabfallen, so ist ihre Wirkung $\frac{6000 \cdot 2}{70}$ oder 171 Pferdekräften gleich. Hieraus ergibt sich der Nutzen solcher Einrichtungen. Bei unterschlächtigen Mühlrädern geht ein grosser Theil der Wirkung durch die Geschwindigkeit der Schaufeln verloren, wenn sie gerade sind. Man erhält das Maximum der Wirkung, wenn die Umfangsgeschwindigkeit des Rades die Hälfte von der des Wassers ist. Bei dem Rad von *Poncelet* steigt das Wasser auf krummen Schaufeln empor, bis es seine Geschwindigkeit verliert; daher ist sein Effekt viel stärker. Bei oberschlächtigen Rädern wird auch das Gewicht des Wassers als bewegende Kraft benutzt, und daher ist ihr Nutzeffekt viel stärker.

Fig. 146.



Hieher gehört auch der *Montgolfier*'sche *Stossheber*, Fig. 146. Er beruht darauf, dass wenn das Wasser einer Quelle oder eines Gefässes durch eine lange Röhre *ab*, von der hier nur ein Theil abgebildet ist, und durch die Oeffnung *c* abfliesst, und seine grösste Geschwindigkeit erlangt hat, der Stoss desselben auf das Ventil *c* von unten so stark wirkt, dass sich dasselbe hebt und die Oeffnung schliesst. Vermöge seiner Trägheit setzt aber das Wasser seine Bewegung noch fort und öffnet das Ventil *v*, welches sich nach oben mündet, und dringt durch dasselbe in den Windkessel *f*. Nachdem das Wasser zur Ruhe gekommen ist, ziehen sich die durch den Stoss erweiterten Röhrenwände vermöge ihrer Elastizität wieder zusammen, drängen das Wasser etwas zurück, das Ventil *c* öffnet sich durch sein Gewicht und die darüber befindliche Feder von Neuem, das bei *v* schliesst sich, und das Wasser fliesst so lange durch *c*, bis es die Geschwindigkeit wieder erlangt hat, bei der sich das Ventil *c* schliesst und das bei *v* sich öffnet. Dabei entstehen Oscillationen, welche die Wirkung auf die Ventile begünstigen. Die Luft in dem Windkessel, welche nicht entweichen kann, wird dadurch immer mehr zusammengepresst, und drückt das Wasser durch die Röhre *g* zu einer beträchtlichen Höhe über das Niveau der Quelle.

C. Gleichgewicht und Bewegung elastisch-flüssiger Körper.

§. 123.

Wenn ein Gefäss (wie Fig. 107, Seite 93) Luft oder einen andern elastisch-flüssigen Körper enthält, und der Kolben *ab* herabgedrückt wird, so widersteht die Luft mit einer gewissen Kraft, die man ihre *Spannkraft* oder *Expansivkraft* nennt. Diese Kraft ist dem Druck gleich, den sie erleidet, und pflanzt sich nach allen Seiten mit gleicher Stärke fort, wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten. Jede gleichgrosse Fläche der innern Wand des Gefässes erleidet darum dieselbe Pressung. Unsere Erde ist nun von einem Luftmeer umgeben, dessen untere Schichten, vermöge des Gewichtes der darüber befindlichen Luft, sich in einem zusammengepressten Zustand befinden, und darum auf die Oberfläche des Wassers und anderer Flüssigkeiten mit beträchtlicher Kraft drücken. Jedes Wassertheilchen unter der Oberfläche wird also nicht nur durch das Gewicht der darüber befindlichen Wassertheilchen, sondern auch durch den Druck der Luft zusammengepresst. Die Grösse dieses Drucks fand *Torizelli*, nachdem sein Lehrer *Galilëi* die Schwere der Luft schon im Jahr 1640 nachgewiesen hatte, durch einen Versuch, der am einfachsten auf folgende Art angestellt wird: Man nimmt eine Glasröhre von 1 Meter Länge, die an dem einen Ende zugeschmolzen ist, und füllt sie mit Quecksilber, welches zuvor, um alle Luft daraus zu entfernen, ausgekocht worden ist. Hierauf verschliesst man ihr offenes Ende mit dem Finger, kehrt sie um und stellt sie, wie in Fig. 147, in ein Gefäss mit Quecksilber. Man bemerkt alsdann, dass letzteres in der Röhre bis zu einem gewissen Punkt *a* sinkt, der ohngefähr 28 Zoll oder 76 Centimeter über der äussern Quecksilberfläche *b* hoch ist, und dass es in dieser Höhe schweben bleibt. Da nun das offene Ende der Röhre den Austritt der in der Röhre enthaltenen Flüssigkeit gestattet, und diese gleichwohl nicht tiefer sinkt, so muss ein Gleichgewicht der von aussen und innen wirkenden Kräfte eingetreten sein. Auf den Querschnitt *c* am Ende der Röhre drückt aber von innen die Quecksilbersäule $ab + bc$. Denn in dem Raum über *a* ist weder Luft noch ein anderer pressender Körper. Von aussen wird dieser Querschnitt durch die Luft und die Quecksilbersäule *bc* gepresst. Da nun beide Pressungen im Gleichgewicht sind, und der Druck *bc* von innen und aussen sich aufhebt, so ist der Luftdruck gleich dem Druck einer Quecksilbersäule von der Höhe *ab*. Da Wasser 13,59mal leichter ist als Quecksilber, so müsste man, um denselben Versuch mit Wasser anzustellen, eine 13,59mal längere Glasröhre nehmen, und in der That findet man auch, dass in einer solchen das Wasser bis zur Höhe von 13,59 . 0,76 oder 10,43 Meter durch den Druck der Luft *schwebend* erhalten wird.

Fig. 147.

a

Der Druck einer Wassersäule von 10,33 Meter Höhe und 1 □M. Grundfläche beträgt aber 10330 Kil. oder die Luft übt auf jeden Quadratmeter an der Oberfläche der Erde einen Druck von 20,660 Pfund aus. Diess beträgt für 1 □Centim. Fläche 1.033 Kilogr., *oder es ist der Druck der Luft auf einen Quadratcentimeter ohngefähr* 1 *Kilogramm*, also für 1 B. □Zoll 9 Kilogr. oder 18 Pfund. Weil dieser Druck nach allen Seiten mit gleicher Stärke fortgepflanzt wird, wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten, so erleidet z. B. ein Würfel von 1 Centimeter Seite einen Gesammtdruck von 6 Kilogr.

Der Raum über dem Quecksilber in der Glasröhre ist unter der obigen Voraussetzung vollkommen luftleer und heisst die *Torizellische Leere.* Sobald man in die Röhre von unten etwas Luft eintreten lässt, so steigt diese in die Höhe und drückt nun selbst auf das Quecksilber, weil ihr Streben, sich auszudehnen, oder ihre *Expansivkraft* stets dem Druck gleich ist, den sie erleidet. Die Quecksilbersäule sinkt darum so lange, bis der Druck der innern Luft und des Quecksilbers zusammengenommen gleich ist dem Druck der äussern Luft. Alle diese und mehrere andere mit dem Luftdruck in Verbindung stehende Erscheinungen hat man vor *Torizelli* durch den *horror vacui* zu erklären gesucht, indem man annahm, dass die Natur keinen leeren Raum dulde.

Die Grösse des Luftdrucks erscheint in manchen Fällen unwahrscheinlich, wie z. B. bei einem menschlichen Körper, dessen Oberfläche 1 □M. betragen mag, und wo er also gleich 20,000 Pf. ist; allein die Luft im Innern des Körpers übt einen eben so grossen Gegendruck aus und verhindert dadurch die Zusammenpressung. Fällt das Quecksilber in der Röhre um 6 Centim., so nimmt der Druck auf den Körper um 1600 Pf. ab, welches gewiss von Einfluss ist. Auf dem Luftdruck beruhen manche sehr bekannte Dinge, wie der Stechheber, der magische Trichter, der Zauberbrunnen, die Einrichtung des Gasometers, die Lampe des Cardanus, das Saugen, die Wirkung der Schröpfköpfe u. dgl. m.

Wasser fällt nicht aus einem Trinkglas, wenn dieses ganz angefüllt, mit einer Papierscheibe bedeckt und umgekehrt wird.

Für 28 Par. Zoll werden sehr häufig 76 Centim. gesetzt. Genauer genommen sind es nur 75,79 Centim., aber 28'' 1''' mittlerer Luftdruck an der Nordsee entsprechen ziemlich genau 76 Centim.

§. 124.

Die Erfahrung lehrt, dass der Stand des Quecksilbers in der Torizellischen Röhre nicht immer derselbe ist, und dass sich also der Druck der Luft verändert. Diess hat Veranlassung gegeben, jene Vorrichtung als Maass des Luftdrucks zu gebrauchen. Sie wird zu diesem Zwecke mit einer Scala versehen, welche, gewöhnlich in Pariser Zollen, die Höhe der Quecksilbersäule über dem Quecksilber im Gefäss angibt. Die Namen: Barometer, Baroskop, Wetterglas sind nicht ganz passend, weil dieses Werkzeug weder ein eigentliches Maass der Schwere der Luft, noch ein sicheres Kennzeichen der Witterungsveränderung ist.

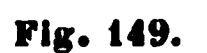
Zu einem guten Barometer gehört eine, wenigstens am obern Ende gleichweite, nicht unter anderthalb Linien weite Glasröhre, welche mit völlig reinem Quecksilber gefüllt ist. Das Quecksilber und die Röhre müssen überdiess durch's Kochen von aller adhärirenden Luft frei sein und dürfen keine Adhäsion zu einander zeigen. Die Scala muss genau und zu schärferen Beobachtungen mit einem Nonius versehen sein. Wenn die Oberfläche ganz eben ist, so rührt diess von Quecksilberoxyd her, welches an das Glas adhärirt. Um die Bildung dieses Oxyds zu verhüten, muss man darum beim Auskochen den Zutritt der Luft so viel als möglich verhindern. Ist die Röhre zu eng, so wirkt die herabdrückende Kraft der Ca-

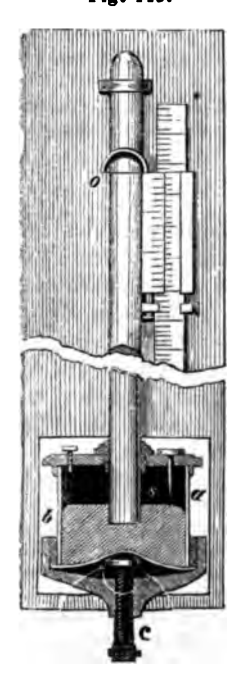
pillarität, und wenn das Gefäss zu eng ist, so kann das Quecksilber in der Röhre nicht sinken, ohne dort zu steigen; es gibt also nicht mehr den wahren Druck der Luft an. Wenn das Barometer luftleer ist, so muss, wenn man es in eine schiefe Lage bringt, das Quecksilber den obern Raum schnell und genau ausfüllen. Die Capillarität hindert bei engen Röhren das Steigen, desshalb klopft man ein wenig vor der Beobachtung. Aus dem arithmetischen Mittel der 24 Barometerstände in den verschiedenen Tagesstunden erhält man den mittleren Barometerstand eines Tages. Diesem entspricht aber in dem europäischen Klima der Barometerstand der Mittagsstunde. Ebenso erhält man den mittleren Barometerstand eines Monats und Jahres. Aus dem Mittel der Barometerstände mehrerer Jahre findet man die mittlere Barometerhöhe eines Ortes.

Fig. 148.

§. 125.

Man hat aus mancherlei Ursachen dem Barometer verschiedene Einrichtungen gegeben, von welchen hier nur die wichtigsten angeführt werden: 1) das gewöhnliche Barometer mit dem birnförmigen Gefäss an der Seite, Fig. 148, hat in der Regel nur den Zweck, die Veränderungen im Luftdruck anzugeben. Es ist zu diesem Ende mit einer Scala versehen, auf welcher die *mittlere* Quecksilberhöhe des Ortes mit dem Worte *veränderlich* bezeichnet ist. Etwas tiefer steht Regen und Sturm, weiter oben schön u. s. w. Dieses Instrument hat nur dann einen Nutzen, wenn man sein Steigen oder Fallen regelmässig beobachtet, indem man aus einer einzigen Beobachtung keinen Schluss über die wahrscheinliche Witterung ziehen kann, ein regelmässig bemerktes Fallen oder Steigen aber oft mit der Richtung des Windes und der Veränderung der Witterung im Zusammenhange steht. 2) Zu genauen Beobachtungen bedient man sich des Barometers von *Fortin*, Figur 149, mit weitem Glasgefässe *ab*, damit das Sinken in der Röhre kein merkliches Steigen in dem Gefässe veranlasst. Um den Einfluss der Capillarität zu vermeiden, macht man jedoch die Röhre zuweilen so weit, dass dennoch ein Steigen in einem mässig weiten Gefässe erfolgt. Damit man nun trotzdem die Höhe genau finden kann, ist in dem Gefässe eine feine Spitze *s* angebracht, welche immer die Oberfläche des Quecksilbers zu berühren hat, ehe man die Höhe desselben in der Röhre misst. Um die Berührung zu bewerkstelligen, hat das Gefäss einen elastischen Boden, welcher durch die Schraube *c* erhöht oder erniedrigt werden kann, und zugleich zum Verschliessen des untern Endes der Röhre dient, wenn man das Barometer transportiren will. Damit beim Ablesen des Barometerstandes das Auge sich in gleicher horizontaler Ebene mit dem Gipfel der Quecksilberfläche befindet, ist am Nonius ein kleines halbkreisförmiges Rähmchen *o* befestigt, welches unten zwei parallele Fäden trägt, die mit dem Nullpunkt des Nonius in einer horizontalen Ebene liegen.


Fig. 149.



Diese Fäden verschiebt man nebst dem Nonius so lange, bis sie und der Gipfel des Quecksilbers sich decken, dann ist auch das Auge in gleicher Höhe mit der Quecksilberkuppe. 3) Das *Heberbarometer*, Figur 150, besteht aus einer Glasröhre, die unten aufwärts gebogen ist und also zwei parallele Schenkel bildet. Beide Schenkel müssen vollkommen gleichweit sein, so weit sich die Veränderungen in dem Quecksilberstande erstrecken; der untere Theil dagegen kann eine beliebige Weite haben. Der Niveau-Unterschied des Quecksilbers in dem verschlossenen längern und dem offenen kürzern Schenkel gibt den Druck der Luft an. Um ihn zu finden, ist entweder die Scala *a b* oben mit einem Nonius versehen, und die Barometerröhre lässt sich durch die Schraube *g* um so viel erhöhen, dass der Anfangspunkt *a* der Scala stets mit der Quecksilberfläche *c* in dem kürzern Schenkel zusammenfällt, oder das Glas enthält selbst die Eintheilung. Im letzten Falle wird nur die Höhe irgend eines Punktes *f* über *d* genau gemessen, und die Eintheilung von *f* und *d* abwärts in Zollen, Linien und Zehntels-Linien aufgetragen. Der Abstand zwischen *f* und *d* lässt sich genauer bestimmen, wenn der kurze Schenkel des Barometers mit dem obern Theil des langen in eine gerade Linie fällt. Dieses Barometer ist besonders auf Reisen bequem, wenn es bei *o* einen eisernen Hahn hat, durch welchen man das beim Schiefhalten in den langen Schenkel zurückgetretene Quecksilber abschliessen kann; das in dem kürzern Schenkel zurückbleibende Quecksilber wird durch ein mit Baumwolle umgebenes Fischbeinstäbchen abgeschlossen. Damit das Quecksilber, wenn es sich durch die Wärme ausdehnt, die Röhre nicht zersprengt, sind beide Schenkel, da wo der Hahn sich befindet, durch eine eiserne Röhre verbunden, deren Fütterung elastisch ist. In vielen Fällen begnügt man sich mit dem Fig. 151 abgebildeten Verschluss. Ein Fischbeinstäbchen *b c*, welches am untern Ende bei *b* einen elastischen, mit ungedrehter Seide umwickelten Kork trägt, wird bei geneigter Lage des Barometers herabgedrückt, bis es die Quecksilberkuppe bei *a* berührt. Das Fischbeinstäbchen wird dann bei *c* durch eine Schraube festgestellt. Damit das zwischen den Kork und die Röhre beim Transport eingedrungene Quecksilber nachher beim Zurückziehen des Stäbchens wieder herabfällt, ist der kürzere Schenkel oben etwas erweitert. Eine sehr zweckmässige Einrichtung, um das Eindringen von Luft in das Barometer zu verhindern, hat *Lefranc* angegeben. An dem untern Theil des Heberbarometers, Fig. 152, ist *a* der längere, *b* der kürzere Schenkel. Der letztere ist in eine konisch Spitze von höchstens 1 Millimeter Weite ausgezogen. Darauf ist

Fig. 150.

Fig. 151.

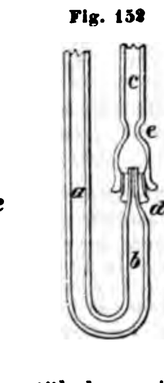


Fig. 152

ein konischer Kork d so festgemacht, dass die Spitze 8 bis 10 Millimeter darüber hervorragt. Auf diesem Kork steckt die bei e verengte Glasröhre c, welche gleiche Weite mit dem langen Schenkel hat. Auf den Kork und die daran gränzenden Röhrentheile wird ein Streifen Blase geleimt und diese mit Faden umwickelt. Der Verschluss der Röhre c geschieht beim Transport auf dieselbe Art, wie bei dem vorigen Heberbarometer. Bei dem Barometer von *Gay Lussac*, Fig. 153, hat der kürzere Schenkel nur bei a eine ganz feine Oeffung. Will man es transportiren, so hält man es schief, bis der obere Theil mit Quecksilber angefüllt ist, und kehrt es um. Das übrige Quecksilber sammelt sich dann bei b, ohne dass je etwas verloren gehen kann. Die vollendetsten Barometer sind die grossen von *Pistor* und *Schieck*. Ihre Röhren sind 6 Linien weit. Der Stand des Quecksilbers wird durch Mikroskope beobachtet, und die Aufstellungsart verbürgt die vollkommen lothrechte Lage der Röhre. Andere Einrichtungen des Barometers, die man vorgeschlagen hat, um die Veränderungen des Luftdrucks auffallender zu machen, oder das Barometer abzukürzen, sind meistens der Vergessenheit übergeben. Bequem zum Transport und ziemlich genau ist das Barometer von *Bourdon* und das Aneroïdbarometer von *Vidi*.

Fig. 153.

Bei Gefässbarometern mit selbst sehr weiten Röhren spricht die Veränderlichkeit in der Gestalt der Oberfläche des Quecksilbers für einen fortdauernden Einfluss der Capillarität. Nach *Poisson* beträgt die Depression des Quecksilbers D, bei Röhren von dem Durchmesser d in Millimetern, wie folgt:

d	D	d	D	d	D
mm	mm	mm	mm	mm	mm
2	4,579	6	1,136	10	0,420
3	2,902	7	0,877	15	0,127
4	2,053	8	0,684	20	0,036
5	1,507	9	0,534		

Bei Heberbarometern fällt der Einfluss der Capillarität weg, wenn in beiden Schenkeln der Meniscus gleiche Höhe hat. Der Einfluss der Luft bewirkt aber oft, dass in dem einen Schenkel der Meniscus höher ist, als in dem andern. Für diesen Fall hat *Eckhardt* Reductionstabellen angegeben.

Bei beiden Arten der Barometer muss auf die Temperatur Rücksicht genommen werden, indem durch Wärme das Quecksilber ausgedehnt, folglich leichter wird. Desshalb ist neben jedem Barometer ein Thermometer angebracht, und bei Gefässbarometern überdiess ein Thermometer, welches die Temperatur des Quecksilbers angibt. Man reducirt gewöhnlich bei genauen Untersuchungen den Barometerstand auf 0° Wärme. Da nun das Quecksilber sich bei jedem Centesimalgrad um 0,00018018 seiner Länge ausdehnt, so dehnt es sich bei t Grad um $0{,}00018018 \, . \, t$ aus. Ist daher der beobachtete Barometerstand gleich b Linien, so ist der auf 0° Wärme reducirte nur $= b - 0{,}00018018 \, bt$. Diese Verbesserung bedarf jedoch wieder einer andern wegen Ausdehnung der Scale, wenn diese nicht auf dem Glase angebracht ist, das sich nur sehr wenig ausdehnt.

Vollkommen genügend zu Witterungsbeobachtungen und auch auf Reisen wird das Barometer, wenn man ihm die von *Lamont* erfundene Einrichtung, Fig. 148, gibt. Der obere Theil besteht aus einer 12 — 14 Zoll langen und 2 Linien weiten Röhre, die zu einer Kugel aufgeblasen ist, der untere aus einer daran geschmolzenen Thermometerröhre. Beim Neigen tritt fast alles Quecksilber aus dem Gefäss in die Röhre und füllt diese vollkommen an; dann wird die Röhre unter und über dem Gefäss im Fall eines Transportes mit einem kleinen Zäpfchen von Holz, das mit Baumwolle umwickelt ist, geschlossen und das Barometer umgekehrt.

Statt der messingenen Scala bedient sich *Weber* eines vor die Mitte des Glasrohres befestigten dicken Spiegelglases, welches so fein als möglich getheilt ist. Die

echte Hälfte desselben ist wie ein Spiegel belegt, die linke Hälfte durchsichtig, so ass man nur die linke Hälfte der Röhre sehen kann. Indem man nun die Pupille es Auges in dem Spiegel gleich hoch mit der Quecksilberkuppe sieht, gibt auch er in gleicher Höhe befindliche Theilstrich den wahren Stand des Barometers an.

Das Metall-Barometer von *Bourdon*, welches Fig. 154 abgebildet ist, gründet ich darauf, dass eine dünne biegsame Röhre, die ein wenig platt gedrückt und in iner Ebene, senkrecht zur plattgedrückten Seite, aufgerollt ist, bei jedem von innen erfolgenden Druck gerade zu werden strebt, und wenn der Druck von aussen zunimmt, sich stärker krümmt. Bei diesem Barometer ist die Röhre luftleer und in der Mitte festgemacht. Bei zunehmendem Luftdruck krümmt sie sich noch mehr und theilt die Bewegung ihrer Enden, wie die Figur zeigt, einer Nadel mit, welche den entsprechenden Barometerstand auf einen Kreisbogen angibt. Um die Bewegung der Nadel hervorzubringen, sind an die Röhre zwei Drähte *a* und *b* und ein kleiner Hebel befestigt, der auf der Achse der Nadel senkrecht steht. Der letztere wird durch die Spiralfeder *c* zurückgeführt, wenn der Luftdruck zunimmt. Bei Luftschifffahrten, Terrain-Aufnahmen, Fussreisen u. dgl., wo man die Höhenunterschiede nicht sehr genau wissen will, ist dieses Instrument äusserst angenehm. Ebenso das Aneroïd-Barometer von Vidi, welches der Hauptsache nach aus einem cylindrischen luftleeren Gefäss von Metall besteht, dessen Boden von starkem und dessen Deckel von dünnem, durch kreisförmige Biegungen sehr elastischem Blech ist. Je stärker der Luftdruck ist, desto tiefer wird der Deckel hineingedrückt; bei abnehmendem Luftdruck geht er wieder hinauf. Diese Bewegung wird durch ein empfindliches Hebelsystem einer Nadel mitgetheilt, die alsdann den Luftdruck ziemlich genau angibt.

Fig. 154.



Fig. 155.



§. 126.

Die Ausdehnsamkeit oder Expansivkraft der Luft und der übrigen ausdehnsamen Flüssigkeiten nimmt, innerhalb gewisser Gränzen ihrer Dichte, mit dem Drucke und mit der Wärme zu. Diese Einwirkungen müssen aber, der grössern Leichtigkeit wegen, von einander getrennt werden. Wenn Luft in einer Röhre zusammengedrückt werden soll, so ist sie schon vorher in einem gewissen Dichtigkeitszustande. Der Barometerstand sei z. B. gleich 27 Zoll, so kann man die Kraft, mit welcher die Luft verdichtet ist, durch den Druck einer Quecksilbersäule von 27 Zoll ausdrücken. Nimmt man nun eine gebogene Glasröhre *ab*, Fig. 155, deren kürzerer Schenkel oben mit einem Hahn versehen und überall gleich weit ist, so hat man einen Apparat, um die Gesetze über die Spannkraft und Dichte der Luft zu finden. Zu diesem Zweck giesst man etwas Quecksilber durch die trichterförmige Erweiterung des Schenkels *a* und schliesst damit die Luft in *b* von der äussern Luft ab. Oeffnet man nun den Hahn, so nimmt die Luft in *b* gleiche Spannung mit der äussern Luft an, und die Scala auf dem Brett gibt an, welchen Raum sie in der Röhre einnimmt. Wird nun der Hahn geschlossen

und noch mehr Quecksilber in das Rohr *a* nachgegossen, so wird die Luft im Schenkel *b* in einen kleinern Raum zusammengepresst. Wenn alsdann die beiden Scalen angeben, dass das Quecksilber im längern Schenkel um obige 27 Zoll höher steht als im kürzern, so wird man bemerken, dass die Luft in *b* nur noch die Hälfte des vorigen Raums einnimmt. Der Druck, welchen sie jetzt erleidet, ist aber gerade der doppelte von dem frühern. Ebenso bemerkt man, dass sie beim dreifachen Druck, d. h. wenn das Quecksilber im längern Schenkel 54 Zoll höher steht als im kürzern, nur den dritten Theil des Raumes einnimmt, oder dass sich *die Räume der Erfahrung gemäss umgekehrt wie die pressenden Kräfte verhalten*. Dieser Satz wird auch bei Verdünnung der Luft durch folgenden Versuch bestätigt. Wenn eine an beiden Enden offene Glasröhre, Fig. 156, bei 27 Zoll Barometerstand von *a* bis *b* mit Luft gefüllt bleibt, während sie bis *b* in Quecksilber eingetaucht wird, welches sich in einer weiten Röhre *c* befindet, und man verschliesst sie nun bei *a* und hebt sie dann empor, während ihr unteres Ende immer noch im Quecksilber steht, so bemerkt man, dass wenn z. B. das Quecksilber in der ersten Röhre 18 Zoll höher steht als in der zweiten, und also 18 Zolle abwärts drücken, die Luft in ihr einen dreimal grössern Raum als vorher einnimmt. Da die äussere Luft mit 27 Zoll aufwärts drückt, so ist die Kraft, mit welcher die eingeschlossene Luft zusammengepresst wird, nur noch 9 Zoll, oder nur noch der dritte Theil des vorigen Druckes.

Fig. 156.

Da die Räume, welche eine gewisse Luftmenge, die zusammengepresst oder ausgedehnt wird, einnehmen kann, sich auch umgekehrt wie die Dichten verhalten, so kann man das obige Gesetz, welches von seinem Entdecker das *Mariotte*'sche heisst, auch so ausdrücken: *Die Dichte der Luft verhält sich, bei sonst gleichen Umständen, wie die pressende Kraft*, oder, da diese der Expansivkraft gleich ist, *wie ihre Expansivkraft*.

Fig. 157.

Diesem Gesetze sind alle Körper, auch die festen, innerhalb ihrer Elastizitätsgränzen unterworfen. Man hat Luft jahrelang in Glasröhren eingeschlossen und keine Abnahme ihrer Elastizität bemerkt. Auch die andern Gasarten folgen dem *Mariotte*'schen Gesetze, bis der Druck nur um einige Atmosphären geringer ist als derjenige, bei welchem sie tropfbar werden.

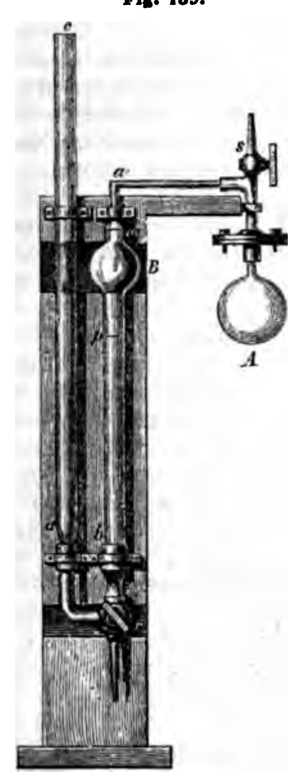
Nach den Versuchen von *Arago, Dulong* und *Pouillet* erleidet bei der Luft dieses Gesetz keine Veränderung, selbst bei einer 100fachen Verdichtung, und wahrscheinlich auch nicht bei einer viel höhern, weil sie erst bei einem bis jetzt unerreichten Druck oder Kältegrad tropfbar wird.

Auf das Mariotte'sche Gesetz gründet sich das *Manometer* mit comprimirter Luft, welches aber bei höherem Druck sehr ungenau ist. Es besteht im Wesentlichen aus einer oben geschlossenen Glasröhre, Fig. 157, die unten in ein eisernes Gefäss festgemacht ist, welches Quecksilber enthält. Durch eine Tubulatur *A* wird es mit dem Gefäss, welches comprimirte Luft enthält, in Verbindung gesetzt. Das Quecksilber erhebt sich in der Röhre, bis sein Gewicht

ebst dem Druck der eingeschlossenen Luft der Pressung, die bei A erfolgt, das leichgewicht hält. Die Theilung darauf gibt gewöhnlich an, wie hoch das Queck-ilber bei 1, 2, 3 ... fachem atmosphärischem Druck steigen muss. Genauer ist das lanometer mit freier Luft, Fig. 158, wenn Pressungen von mehr als fünf Atmosphä-en zu messen sind. Es besteht aus einer Röhre von Krystallglas BD von 5 und iehr Meter Länge, und einem schmiedeisernen Gefäss D, welches Quecksilber ent-ält und in welches die Röhre taucht. Diese Röhre ist an beiden Enden offen und ehr fest in das Gefäss gekittet. Eine zweite Röhre AC von 4 Meter Länge steht nten durch ein Querröhrchen mit D in Verbindung. Diess Metallrohr wird bei A iit dem Gasometer oder dem Dampfkessel in Verbindung gesetzt, und das Queck-lber in D erhebt sich alsdann in der Röhre BD, bis der Druck des Gases gleich t dem der Atmosphäre und dem der Höhe der Quecksilbersäule in BD über der i AC.

Fig. 158.

Fig. 159.



Sehr zweckmässig ist auch das Manometer von *Bourdon*, welches sich auf das bei dem Metallbarometer in §. 124 erwähnte Prinzip gründet. Hieher gehört auch das von *Regnault* erfundene *Volumenometer* zur Bestimmung des Volumens und der Dichte pulverförmiger und poröser Körper, Fig. 159. Es besteht aus einem Manometer, welches durch eine sehr enge Glasröhre a mit einer Glaskugel A von ungefähr 300 Kubikcentimeter Inhalt verbunden ist. Diese ist oben mit einer Metallplatte versehen, welche an eine andere Metallplatte durch eine dazwischen gelegte Kautschuckplatte und durch Schrauben luftdicht befestigt werden kann. An der obern Metallplatte ist das eiserne, mit einem Hahn versehene Rohr s befestigt, von welchem ein Seitenrohr zu der eingekitteten engen Glasröhre a führt. Letztere ist eine Fortsetzung der einen Manometerröhre mr, welche $1\frac{1}{2}$ Centim. weit und bei B zu einer Kugel erweitert ist. Beide Manometerröhren sind unten in eine eiserne Fassung gekittet und können durch den Hahn r entweder in Verbindung gesetzt werden, oder man kann ihn so stellen, dass sie in oder ausser Verbindung sind, wenn das Quecksilber aus der Röhre mr ausfliessen kann. Nachdem das Volumen V der Kugel A durch Wägen mit und ohne Quecksilber bestimmt ist, sucht man das Volumen v der Manometerröhre von dem Strich m bis p, indem man bei offenem Hahn s durch die andere Röhre Quecksilber hineingiesst, bis es die Höhe m erreicht hat. Sodann sperrt man beide Röhren von einander ab und lässt aus der Röhre mr so lange Quecksilber ausfliessen, bis es bei dem Strich p steht. Das unten ausgeflossene Quecksilber wird gewogen und gibt das Volumen v. Man wiegt nun von der zu untersuchenden Substanz, z. B. dem Pulver, so viel als ohngefähr die Hälfte der Kugel A anfüllt. Sein Gewicht sei p und sein Volumen $= x$. Das Pulver wird nun in die Kugel A gebracht und diese luftdicht befestigt. Hierauf wird das Manometer bei geöffnetem Hahn s durch die Röhre cd bis m mit Quecksilber gefüllt und dann s geschlossen. Die zwischen m und A eingesperrte Luft hat jetzt das Volumen $V - x$ unter dem Druck H, welchen ein Barometer angibt. Nun lässt man das Quecksilber aus beiden Röhren so lange ausfliessen, bis es in der Röhre mr bis p gesunken ist. Es muss alsdann in cd niedriger stehen, weil die Luft aus dem Raum $V - x$ sich in

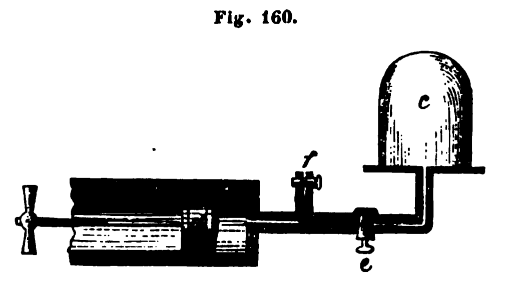
den Raum $V + v - x$ ausgedehnt hat. Der Höhenunterschied betrage h, so ist die Expansivkraft der Luft in A noch $H - h$. Man hat also nach dem Mariotte'schen Gesetz $\frac{V + v - x}{V - x} = \frac{H}{H - h}$, woraus sich ergibt, dass $x = V + v - \frac{Hv}{h}$. Aus dem Volumen x und dem absoluten Gewicht p ergibt sich aber die Dichte $\frac{p}{x}$.

Eine zweite Messung von x macht man dadurch, dass, nachdem in beiden Röhren das Quecksilber bei dem Barometerstand H bis p stund, man s schliesst und in cd so lange Quecksilber nachgiesst, bis es nach m in der Röhre mr steigt. Es steht in cd dann um h höher und man hat $\frac{V + v - x}{V - x} = \frac{H + h}{H}$, woraus $x = V - \frac{Hv}{h}$.

§. 127.

Um die mit der Verdünnung der Luft verbundenen Erscheinungen bequem hervorbringen zu können, bedient man sich der *Luftpumpe*. Die Wirkung derselben lernt man am besten durch die Beschreibung einer ganz einfachen Maschine dieser Art kennen. Der hohle Cylinder, Fig. 160, gewöhnlich der Stiefel genannt, ist durch eine enge Röhre mit dem Gefässe c, welches der Recipient heisst, verbunden. Wenn nun der luftdichte Kolben d zurückgezogen wird, so dehnt sich die Luft von c in einen grössern Raum aus. Ist

Fig. 160.



z. B. der Raum, bis zu welchem der Kolben zurückgezogen wird, gerade so gross als der von c, so ist die Dichte der Luft nachher halb so gross als vorher. Wird darauf der Hahn e, welcher den Stiefel mit c verbindet, geschlossen, und der Hahn f, welcher die äussere Luft mit der Luft in dem Cylinder in Verbindung bringt, geöffnet, so strömt Luft in den Stiefel. Wenn aber der Kolben wieder vorwärts gedrückt wird, so wird sie durch den Hahn f hinausgepresst. Schliesst man nun diesen Hahn und öffnet dann den Hahn e, so wird die Luft in c, wenn der Kolben abermals zurückgezogen wird, wieder in einen grössern Raum ausgedehnt, und unter der obigen Voraussetzung ihre Dichte auf $\frac{1}{4}$ gebracht. So oft man diese Operation wiederholt, so oft wird etwas Luft ausgepumpt, aber die Menge der zurückbleibenden wie der ausgepumpten wird immer geringer. In dem kleinen Kanale von dem Cylinder zu dem Hahn e hat, nach jedesmaligem Andrücken des Kolbens und dem Schliessen des Hahns f, die abgeschlossene Luft die Dichte der äussern, und da sie beim Oeffnen des Hahns e in den Recipienten c tritt, so kann die Verdünnung niemals eine gewisse Gränze überschreiten; daher heisst dieser kleine Raum der *schädliche* Raum. Ist die Grösse desselben $= r$, und die des Stiefels $= a$, so ist die Dichte der Luft, auch bei der stärksten Verdünnung, noch $\frac{r}{a + r}$. Bei guten Luftpumpen wird die Dichte auf $\frac{1}{200}$ bis $\frac{1}{500}$ gebracht. Dabei wird vorausgesetzt, dass

man die wässerigen Dünste im Recipienten durch ein hineingestelltes Gefäss mit Chlorcalcium oder Schwefelsäure entfernt. Statt der beiden Hahne f und e kann man auch nur einen, den *Senguerd*'schen Hahn, der, wie in Fig. 161, durchbohrt ist, anwenden. Dieser wird auf dieselbe Art wie e so nahe als möglich an dem Stiefel angebracht. Hat er die erste Stellung $a u$ in der Figur 161, so setzt er durch den krummen Kanal u die äussere Luft mit dem Recipienten in Verbindung. Dreht man ihn aber um 90°, wie in $b u$, so steht der Stiefel durch den Kanal s mit dem Recipienten in Verbindung, und der krumme Kanal u ist dadurch am obern Ende abgeschlossen, dass seine Oeffnung an der Röhrenwand ansteht.

Fig. 161.

Wenn nach Abzug des Kolbens der Raum in dem Stiefel durch a, der Raum des Recipienten c durch b, und die Dichte der atmosphärischen Luft durch d bezeichnet wird, und man nennt die Dichte der Luft in dem Recipienten nach dem ersten Kolbenzug x, so ist $x : d = b : a + b$ oder $x = \frac{d \,.\, b}{a + b}$, weil sich die Luftmenge b in den Raum $a + b$ ausgedehnt hat. Da nach dem ersten Kolbenzuge die Luft aus dem Stiefel fortgeschafft wird, so muss sich, wenn man keine Rücksicht auf den schädlichen Raum nimmt, die in dem Recipienten zurückgebliebene Luft beim zweiten Kolbenzuge wieder aus dem Raume b in den Raum $a + b$ ausdehnen, und desshalb statt der Dichte x die Dichte $\frac{x \,.\, b}{a + b}$ haben. Führt man statt x den obigen Werth ein, so ist die Dichte der Luft nach dem zweiten Kolbenzuge $= \frac{d \,.\, b^2}{(a + b)^2}$ und nach dem $n$ten Kolbenzuge $= \frac{d \,.\, b^n}{(a + b)^n}$.

§. 128.

Der Apparat, welchen man anwendet, um die Luft zu verdichten, beruht im Wesentlichen auf Folgendem: Wenn man in Fig. 160 den Hahn f öffnet und den Kolben d ganz zurückzieht, so füllt sich der hohle Cylinder mit Luft an. Schliesst man nun den Hahn f und öffnet dann den Hahn e, so kann die Luft beim Andrücken des Kolbens nirgendshin entweichen als in das Gefäss c. Die Luft in c wird, nach der frühern Voraussetzung, dadurch die doppelte Dichte erhalten. Wenn e nun geschlossen und f geöffnet wird, und man zieht den Kolben wieder zurück, so tritt abermals Luft in den hohlen Cylinder, welche, durch das Schliessen von f, durch das Oeffnen von e und das Andrücken des Kolbens, abermals in den Raum c gepresst werden kann. Die Dichte der Luft in c ist alsdann dreifach. Auf gleiche Art kann die Verdichtung noch weiter getrieben werden.

§. 129.

Seit *Otto von Guericke* die Luftpumpe erfunden hat, ist man immer bemüht gewesen, Verbesserungen an ihr anzubringen. Man hat die Stelle der Hahne durch Ventile zu ersetzen gesucht, indem das Oeffnen und Schliessen der erstern unbequem und zeitraubend ist, oder man hat durch eine Steuerung, welche mit der Bewegung des Kolbens in Verbindung steht, das Oeffnen der Hahne oder Schieber bewirkt. Ferner

hat man durch das Füllen grosser Gefässe mit Quecksilber oder Wasser, welches durch vertikale Röhren von gehöriger Länge abfliessen kann, luftleere Räume zu erzeugen gesucht. Daher gibt es *Hahn-*, *Ventil-*, *Schieber-*, *Quecksilber-* und *Wasser*-Luftpumpen.

Die *einstieflige Ventilluftpumpe,* Fig. 162, besteht aus dem Recipienten *A*, dem Stiefel *B* und der Barometerprobe *c*. Der Recipient und der Stiefel communiciren durch den Kanal *DD*. In dem Boden des Stiefels ist bei *o* eine kegelförmige Vertiefung, in welche der darüber befindliche metallene Kegel an dem untern Ende der Stange *b* genau passt. Diese Stange *b* geht luftdicht, also mit Reibung durch die lederne Liederung des Kolbens und hat oben einen festen Wulst, der sie verhindert, weiter aus dem Deckel des Stiefels hervorzutreten. Geht der Kolben herab, so nimmt er die Stange *b* mit, diese verschliesst sogleich die Oeffnung *o*, und indem nun der Kolben noch weiter herabgeht, wird die unter ihm befindliche Luft zusammengepresst und entweicht durch das Ventil *i*, welches sich nach oben öffnet, in den Raum über dem Kolben. Dieser Raum steht oben mit der äussern Luft in Verbindung. Sitzt die Bodenplatte des Kolbens unten genau auf, so ist alle Luft unter ihm entfernt, mit Ausnahme der wenigen Luft in dem schädlichen Raum unter dem Ventil *i*. Wird der Kolben nun in die Höhe bewegt, so nimmt er die Stange *b* nur so weit mit sich empor, dass der Kegel gerade aus der Oeffnung *o* heraustritt, weil der obere Wulst an der Stange *b* ein weiteres Erheben verhindert. Die Luft in dem Recipienten dehnt sich jetzt in ihm und dem Stiefel aus und wird dadurch verdünnt. Sobald der Kolben wieder herabgeht, wird *o* verschlossen und die in dem Stiefel unter dem Kolben befindliche Luft zusammengepresstund durch *i* entfernt u. s. w. Bei *d* ist ein *Senguerd*'scher Hahn, um nach Belieben Luft von aussen in den Recipienten oder den Stiefel treten zu lassen, oder auch, um nur den Kanal *DD* zu schliessen. Die Barometerprobe *c* die Fig. 163 in grösserem Maassstab abgebildet ist, besteht aus einem heberförmigen Glasrohr *ab* von 4 bis 6" Länge, welches bei *a* zugeschmolzen und von *b* bis *a* mit Quecksilber gefüllt ist. Bei gewöhnlichem Luftdruck kann dieses Barometer seiner Kürze wegen nicht sinken; indem es aber von einem Glascylinder umgeben ist, in welchem die Luft ebenso stark verdünnt wird als in dem Recipienten, so muss es zu sinken anfangen, wenn in diesem die Spannkraft der Luft nur noch einige Zoll beträgt. Die Grösse dieses Drucks wird alsdann durch den Unterschied der Quecksilberhöhen an den beiden Scalen angegeben. Das Auf- und Abwärtsgehen des Kolbens wird gewöhnlich dadurch bewirkt, dass die Kolbenstange gezahnt ist und durch ein gezahntes Rad mittelst einer Kurbel bewegt wird. Der Druck der Luft befördert das Hinabgehen des Kolbens, und diese Kraft wird mit Vortheil bei den zweistiefligen Luftpumpen, Fig. 164, benutzt; aber auch ausserdem dadurch an Zeit gewonnen, dass beständig einer der beiden Stiefel die Luft unter dem Recipienten verdünnt, während der andere herabgeht. Ist diess in dem Stiefel *A* der Fall, so is auch zugleich der Kanal *C*, welcher nach dem Recipienten führt, von *A* abgeschlossen, während der Stiefel *B* damit in Verbindung steht und umgekehrt. Die Luft

Fig. 162.

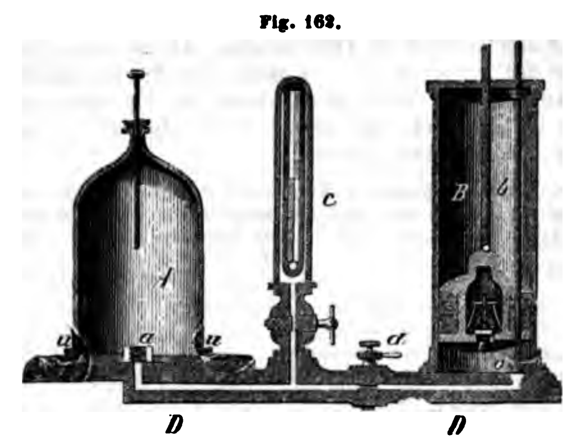


Fig. 163.

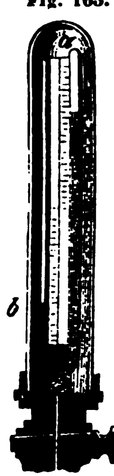
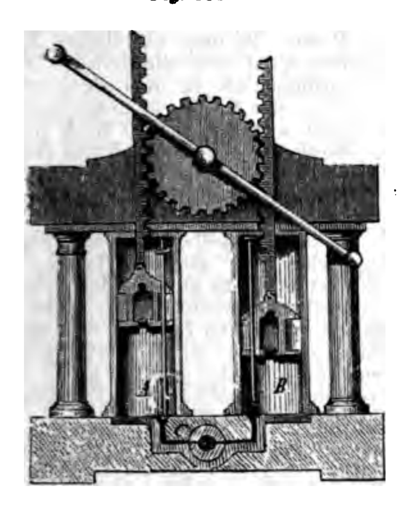
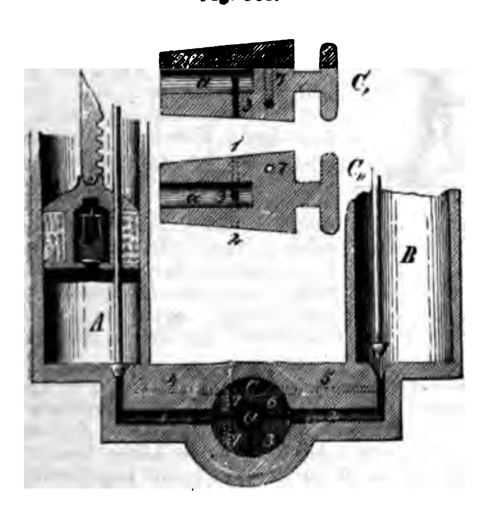


Fig. 164.



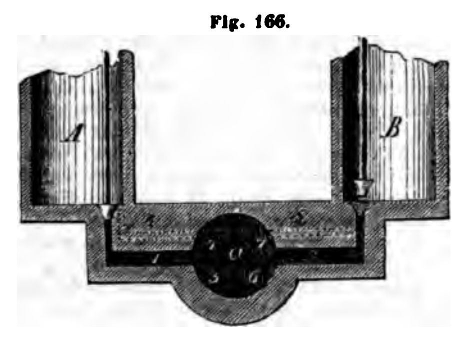
unter dem Kolben des Stiefels *A* entweicht bei der gegenwärtigen Stellung durch das Ventil dieses Kolbens. Wenn da, wo der Kanal *C* in die beiden Stiefel sich mündet, *Senguerd*'sche Hahne angebracht werden, so können diese den Dienst der Ventile versehen; nur muss alsdann ihre Verstellung so bewirkt werden, dass während der eine den Raum *B* von dem Kanal *C* abschliesst und mit der äussern Luft in Verbindung setzt, der andere den Raum *A* mit dem Recipienten verbindet und die äussere Luft abschliesst. Diese rechtzeitige Verstellung der beiden Hahne wird gewöhnlich durch eine mechanische Vorrichtung bewirkt, die man die *Steuerung* nennt. Welche von beiden Vorrichtungen man indessen wählen mag, immer bleibt ein schädlicher Raum in jedem der beiden Stiefel zwischen dem Kolben und den Ventilen oder Hahnen übrig, welcher eine sehr weit gehende Verdünnung der Luft verhindert. Um diese dennoch zu erreichen, haben *Grassmann* und *Babinet* darauf gedacht, den einen Stiefel, wenn die Luft schon bis zu einem gewissen Grad verdünnt ist, zu benutzen, um die Luft in dem schädlichen Raum des andern Stiefels zu verdünnen. Diess wird auf folgende Weise ausgeführt und dadurch es möglich gemacht, die Luft bis zu einem hohen Grade zu verdünnen. Die beiden Stiefel *A* und *B* in Fig. 165 sind wie sonst durch einen Kanal 1, 2 verbunden. Senkrecht zu diesem ist das Metallstück, worin er sich befindet, durchbohrt, um einen Hahn *C* aufzunehmen. Dieser Hahn ist, wie *C,* und *C,,* zeigt, auf verschiedene Weise durchbohrt. Der Kanal *a* führt luftdicht in eine Röhre, die unter dem Recipienten sich endigt. Der Kanal 1, 2 in *C,,* ist senkrecht dazu und hat die Bestimmung, die Stiefel *A* und *B* in Verbindung zu setzen. Senkrecht zur Ebene der Kanäle 1, 2 und *a* in *C,,* ist der Kanal 3. Eine vierte Durchbohrung, in einer mit dem Kanal 3 parallelen, also vor- oder rückwärts gelegenen Ebene, die nicht durch die Achse des Hahns geht, ist der Kanal 7, 7. Diese Durchbohrung entspricht dem Kanal 4, 5, welcher parallel 1, 2, aber gleichfalls weiter vor- oder rückwärts als dieser liegt.

Fig. 165.



Bei der anfänglichen Luftverdünnung hat der Hahn die Stellung wie in der Hauptfigur und in *C,*. Man darf aber nicht glauben, dass der Kanal 4,5 nun mit 1,2 in Verbindung steht; er ist vielmehr an dem einen Ende ganz geschlossen, weil er in einer andern Ebene liegt, als der Kanal 1, *a,* 2. Hat man nun in dieser Stellung die Luft so weit verdünnt, dass das Barometer nicht mehr sinkt, und ist der Kolben von *B* am Boden des Stiefels angelangt, so gibt man dem Hahn die Stellung wie in Fig. 166. Dadurch ist der Kanal *a*, der zu dem Recipienten führt, von *B* abgeschlossen, denn der Kanal 3 steht mit dem Kanal 4,5 in keiner Verbindung. Indem der Kolben *A* wieder herabgeht, geht das Ventil am Boden des Stiefels *A* zu, die Luft in *A* wird aber nicht zusammengepresst, sondern

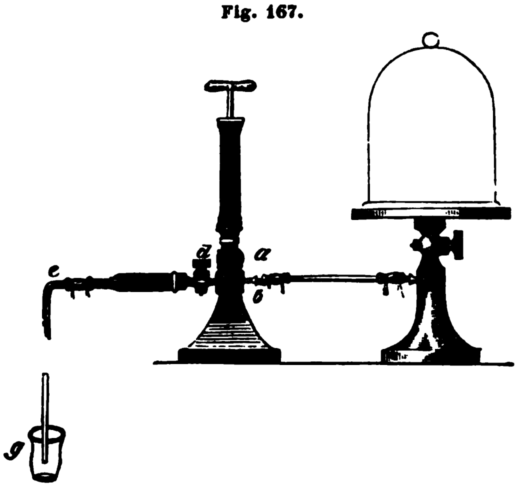
Fig. 166.



sie geht nun durch den Kanal 4, 7, 7, 5 und breitet sich in dem Raum *B* aus. In dem schädlichen Raum von *A* ist also die Luft so stark verdünnt als in dem Recipienten, wenn der Kolben *A* unten aufsitzt. Geht nun der Kolben in *B* wieder herab, so schliesst sich das Bodenventil von *B*, die verdünnte Luft in *B* wird also wieder zusammengepresst und entweicht durch das Ventil in dem Kolben *B*, sobald sie die Dichte der atmosphärischen Luft übersteigt; zu gleicher Zeit geht der Kolben *A* wieder in die Höhe und verdünnt die Luft in dem Recipienten abermals u. s. w. Die Luft aus dem schädlichen Raum von *B* kann nicht wieder in den Recipienten zurücktreten, weil in dem Augenblick, in welchem nachher das Ventil in *B* wieder geöffnet wird, auch das Bodenventil in dem Stiefel *A* sich wieder schliesst. Daher kann die Verdünnung viel weiter durch diese Vorrichtung getrieben werden als gewöhnlich.

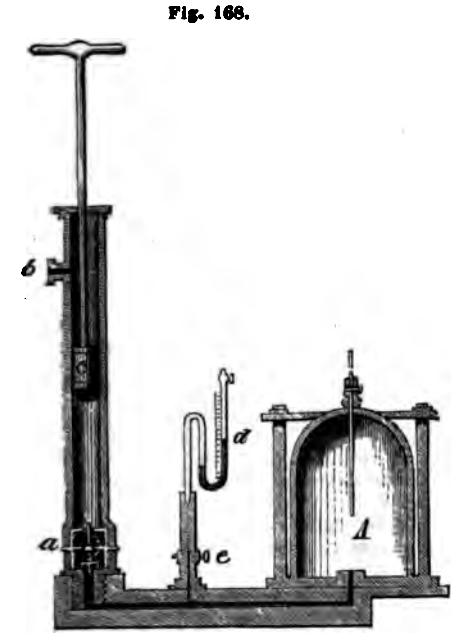
Für gewöhnliche Arbeiten mit der Luftpumpe genügt die sehr wohlfeile Handluftpumpe von *Gay-Lussac*, Fig. 167. Sie besteht aus einem kleinen Kolben, der mit einem Handgriff versehen ist. Der Stiefel ist auf das Holzgestell *c* geschraubt, welches auf dem Tisch festgemacht ist. Aus den Röhren *b* und *e* führt ein Kanal nach dem Stiefel, der durch Drehen des Hahnes *a* verschlossen werden kann. Der Kolben in dem Stiefel hat innen ein kleines Blasenventil, welches sich, wie bei den andern Ventilluftpumpen, nach oben öffnet, wenn der Kolben herabgeht und sich durch den Luftdruck schliesst, wenn er hinaufgeht. Eine mehr als 28 Zoll lange Glasröhre *eg*, die bei *e* gebogen und durch ein Ansatzstück mit dem Stiefel verbunden ist, reicht in ein Gefäss mit Quecksilber *g* hinab. Durch die Höhe, bis zu welcher dieses in der Röhre steigt, wird der Grad der Luftverdünnung angegeben, welche in dem Recipienten, der durch die Röhre *b* mit dem Stiefel verbunden ist, stattfindet.

Fig. 167.



Zur Verdichtung der Luft dient die *Compressionspumpe*, Fig. 168. Der Recipient *A* muss von starkem Glas und durch einen Deckel und durch Schrauben an den metallenen Teller fest angedrückt sein. Der Stiefel wird nicht über 1 Zoll weit gemacht, weil man damit oft einen Druck von mehreren Atmosphären hervorzubringen sucht. An seinem untern Ende bei *a* ist in der Mitte ein kegelförmiges Ventil angebracht, welches sich nach unten öffnen lässt. Damit es immer in der rechten Lage bleibt, bewegt sich das Metallstäbchen, das durch seine Mitte geht, in einer Führung auf und ab. Eine spiralförmige Feder drückt es von unten nach oben, damit es recht fest schliesst. Zieht man den Kolben *c* bis über die Oeffnung *b* zurück, so füllt sich der Stiefel mit atmosphärischer Luft, oder wenn eine Gasröhre an *b* befestigt ist, mit dem Gas, welches durch diese aus einem Gasometer herbeigeführt wird. Drückt man nun den Kolben herab, so wird diese Luft unter ihm zusammengepresst, das Ventil nach unten gedrückt und die Luft strömt in den Recipienten *A*. Ist sie dort bis zu einem hohen Grad durch viele solche Stösse verdichtet, so widersteht das Ventil dem Druck von aussen mit grösserer Kraft; dann

Fig. 168.



aber stösst der Kolben am Ende seiner Bahn mit der unteren Fläche auf das Stäbchen, welches durch die Mitte des Ventils *a* geht, und drückt das letztere hinab. Um die Spannkraft der comprimirten Luft zu messen, ist auf dem Kanal, der vom Stiefel zum Recipienten führt, ein *Manometer cd* angebracht. Dieses besteht aus einer zweimal gebogenen Glasröhre *d*, die fest in eine metallene Röhre *e* eingekittet ist. Diese Röhre communicirt mit dem Recipienten *A* und enthält etwas Quecksilber in der abwärts gerichteten Krümmung. Ehe man nun die Luft zu verdichten anfängt, öffnet man den obern Hahn an dem Manometer *d* und schliesst ihn wieder. Die Luft in dem Raum über *d* hat alsdann gleiche Spannkraft mit der äussern. So wie aber die Verdichtung beginnt, wird sie durch das Quecksilber in einen kleinern Raum zusammengepresst und ihre Spannkraft muss so viel mal grösser sein, als der jetzige Raum, den die Luft im Manometer über *d* einnimmt, in dem vorigen Raum enthalten ist. Der Hahn bei *e* ist wie der *Senguerd*'sche doppelt durchbohrt, um die Luft aus *A* wieder in's Freie strömen lassen zu können. An dem obern Theil des Recipienten ist eine messingene Fassung und in diese eine Röhre eingekittet, die gleichfalls mit einem Hahn versehen ist, um dort die Luft ausströmen zu lassen, oder auch, um als Heronsball zu dienen, dessen Erklärung im §. 131 folgt.

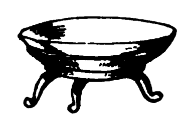
§. 130.

Die Gesetze über die Schwere und Elastizität der Luft, so wie einige andere, mit einer Aenderung ihrer Dichte verbundene Erscheinungen werden durch Versuche erläutert.

1) Eine Glocke sitzt fest, wenn die Luft unter ihr verdünnt ist. 2) Die *Guericke*'schen Halbkugeln können nur mit sehr grosser Gewalt von einander getrennt werden, wenn sie luftleer sind. 3) Eine Glasplatte, welche auf einem Ringe von Metall liegt, oder eine Blase, welche darüber gespannt ist, werden zersprengt, wenn unter ihnen die Luft verdünnt wird. 4) Das Barometer *c*, Fig. 163, S. 130, sinkt um so tiefer, je stärker die Luft verdünnt ist. 5) Ein Heber hört auf und ein Stechheber fängt an zu fliessen, sobald um ihn die Luft hinreichend verdünnt ist. 6) Der Heronsball springt in verdünnter Luft. 7) Eine fest zugebundene Blase, die Luft enthält, dehnt sich unter der Glocke beim Verdünnen aus und zerspringt. Eben so dehnt sich lufthaltiger Thon aus und ein verschlossenes Arzneigläschen zerspringt. 8) Aus Wein, Bier und andern Flüssigkeiten entwickeln sich im luftleeren Raum eine Menge Luftblasen. Ein am spitzen Theile geöffnetes Ei entleert sich in ein untergestelltes Glas. Beim Zutritt der äussern Luft füllt es sich wieder. 9) Holz und andere poröse Körper verlieren im luftleeren Raume die in ihren Poren enthaltene Luft, und werden, wenn sie auf Wasser schwimmen, dadurch beim Zutritte der äussern Luft schwerer, dass nun diese Poren sich mit Wasser füllen. Manches Holz, z. B. das Buchenholz, wird dadurch zum Sinken gebracht. Dieses Verfahren hat *Payne* im Grossen angewandt, um Hölzer mit verschiedenen Stoffen zu imprägniren, die ihnen Färbung oder grössere Festigkeit geben, oder das Verziehen verhindern und sie vor Fäulniss schützen. 10) Alle Körper fallen in einer Röhre gleichschnell, wenn sie luftleer ist, z. B. eine Flaumfeder und ein Stückchen Blei. 11) Eine Kugel ist leichter, wenn sie luftleer ist, als vorher. 12) Kleine Pendel mit Brod- oder Bleikugeln schwingen gleichschnell im luftleeren Raume. 13) Der Ton

einer Glocke unter dem Recipienten wird nicht gehört, wenn die Luft ausgepumpt ist. 14) Lichter erlöschen und Thiere sterben, wenn die Luft um sie sehr verdünnt ist. 15) Eine Glaskugel, die mit einem Hahn versehen ist, welchen man auf die Oeffnung *a*, Fig 162, in dem Teller der Luftpumpe schrauben kann, ist leichter um das Gewicht der Luft, die sie enthielt, nachdem sie luftleer gemacht ist, als vorher. Einige andere Versuche, die nicht hieher gehören, wohl aber in dieser Reihe gerne angestellt werden, weil die Luftpumpe dabei gebraucht wird, sind: 16) Wasser kocht auch bei gewöhnlicher Temperatur, wenn das Wassergas den Druck der Luft nicht zu überwinden hat. 17) Befindet sich ein Gefäss mit rauchender Schwefelsäure in der Nähe einer Schaale mit Wasser, unter dem Recipienten, so wird das Wassergas so schnell absorbirt, dass die Verdunstungskälte das Wasser gefrieren macht. Befindet sich das Wasser in einem durch Verbrennen von Terpentinöl stark berussten Uhrglas, so gefriert es auch ohne Schwefelsäure. Noch leichter gelingt dieser Versuch, wenn man, wie in Fig. 169, zwei Uhrgläser nimmt, das untere mit Wasser füllt, das obere mit Schwefeläther. Das Wasser gefriert, während im leeren Raum der Aether verdunstet. Schwefelkohlenstoff bringt auf diese Art eine Kälte von 60° hervor und macht das Quecksilber gefrieren, auf welches es gegossen ist. 18) Befestigt man auf einem oben tubulirten Recipienten eine Capillarröhre, so dass die äussere Luft mit der innern dadurch in Verbindung steht, und verdünnt man nachher die Luft unter Zuhalten der Röhre, so kann man nach *Jamin* durch abwechselndes Bedecken und Zuhalten mit einem nassen Schwamm eine Reihe von Wassertröpfchen und Luftbläschen in die Röhre bringen. Im Anfang bewegen sich diese rasch nach innen, zuletzt gar nicht mehr Ein Beweis, dass in engen Röhren unter solchen Umständen der Druck sich nicht mehr fortpflanzt.

Fig. 169.



Gährungsfähige Substanzen werden im luftleeren Raum, ohne sich zu ändern, längere Zeit erhalten. Hierauf beruht das Verfahren von *Appert*, Fleisch und andere Substanzen in Blechbüchsen aufzubewahren.

Um einen ganz luftleeren Raum zu erhalten, stellt man nach *Andrews* unter den Recipienten der Luftpumpe eine Schaale mit concentrirter Schwefelsäure und darüber eine Schaale mit einer dünnen Schicht Aetzkalilauge, pumpt die Luft aus und lässt nun aus einem Gasometer luftfreie Kohlensäure eintreten. Diese wird wieder ausgepumpt und so durch mehrfache Wiederholung die Luft völlig ausgetrieben. Die Kalilauge aber absorbirt die Kohlensäure und die Schwefelsäure den Wasserdampf.

Mit der Compressionspumpe kann man folgende Versuche anstellen: 1) Eine Blase, die stark aufgeblasen ist, wird in verdichteter Luft kleiner; eine feine Kugel von Glas zusammengedrückt. 2) Das Quecksilber in der Manometerröhre *d*, Fig. 168, steigt, wenn die Luft comprimirt wird, und man kann den Grad der Verdichtung nach dem *Mariotte*'schen Gesetze aus dem Raume berechnen, den sie nachher noch einnimmt. Wenn man ein umgekehrtes Glas unter Wasser bringt, so wird die in dem Glase enthaltene Luft um so stärker zusammengepresst, je höher die darüber befindliche Wassersäule ist. Darauf beruht die Raumverminderung der Luft in der *Taucherglocke*, wenn diese tiefer versenkt wird. Sowohl um diese zu verhindern, als auch um die Lebensluft in der Glocke zu erneuern, wird mittelst einer Compressionspumpe durch eine vom Schiff oder von der Oberfläche des Wassers in die Glocke führende Röhre stets so viel Luft hinabgepresst, dass an dem untern Rand der Glocke beständig Luftblasen austreten müssen. 3) Der Unterschied in der Fallzeit leichter und schwerer Körper ist in verdichteter Luft noch grösser als im Freien. 4) Eine in heissem Wasser oder in Aether erweichte Kautschuckflasche kann dadurch, dass man auf dem Gefässe *A*, Fig 168, einen Hahn anbringt und von Zeit zu Zeit verdichtete Luft in die daran befestigte Flasche strömen lässt, zu einem Durchmesser von 1 bis 3 Fuss ausgedehnt werden.

§. 131.

Der einfache, so wie der verstärkte Luftdruck werden in den Künsten und Gewerben zu mancherlei Zwecken benutzt.

Der *Heronsball*, Fig. 170, besteht in einer Kugel, die zum Theil mit einer Flüssigkeit gefüllt wird, in welche ein Rohr hinabreicht. Wird die Luft über dem Wasser verdichtet, so drückt sie von innen stärker auf das Wasser, als dieses von

Fig. 170.

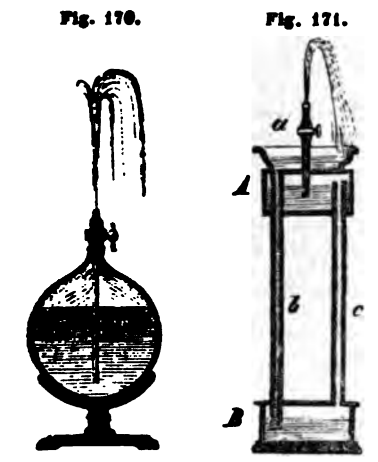
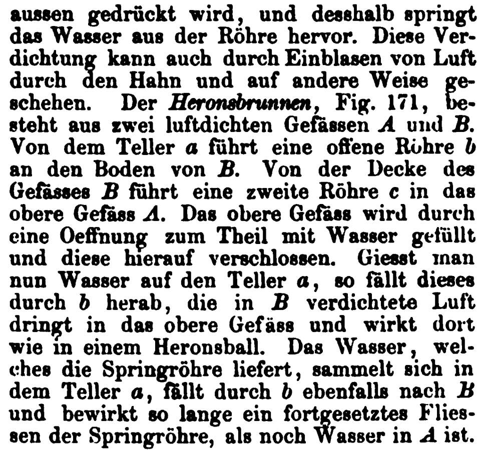
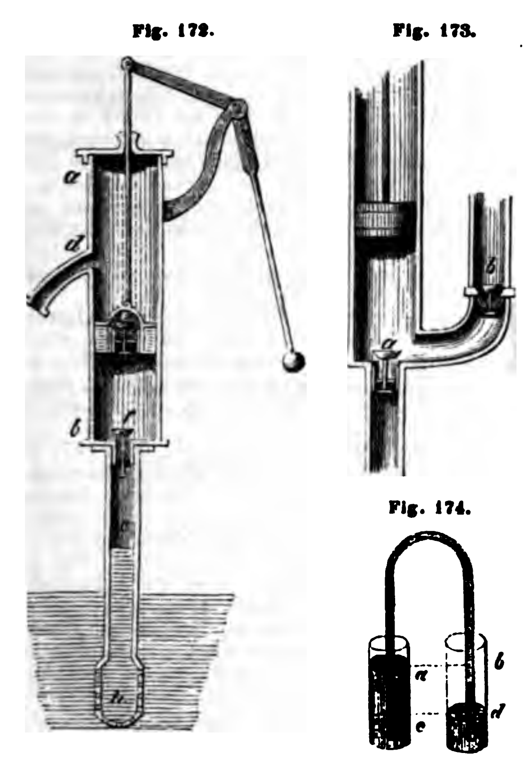


Fig. 171.



aussen gedrückt wird, und desshalb springt das Wasser aus der Röhre hervor. Diese Verdichtung kann auch durch Einblasen von Luft durch den Hahn und auf andere Weise geschehen. Der *Heronsbrunnen*, Fig. 171, besteht aus zwei luftdichten Gefässen *A* und *B*. Von dem Teller *a* führt eine offene Röhre *b* an den Boden von *B*. Von der Decke des Gefässes *B* führt eine zweite Röhre *c* in das obere Gefäss *A*. Das obere Gefäss wird durch eine Oeffnung zum Theil mit Wasser gefüllt und diese hierauf verschlossen. Giesst man nun Wasser auf den Teller *a*, so fällt dieses durch *b* herab, die in *B* verdichtete Luft dringt in das obere Gefäss und wirkt dort wie in einem Heronsball. Das Wasser, welches die Springröhre liefert, sammelt sich in dem Teller *a*, fällt durch *b* ebenfalls nach *B* und bewirkt so lange ein fortgesetztes Fliessen der Springröhre, als noch Wasser in *A* ist.

Fig. 172. Fig. 173. Fig. 174.



Die *Saugpumpe*, Fig. 172, besteht aus der Saugröhre *ch* und dem etwas weitern Stiefel *ab*, welche luftdicht mit einander verbunden sind. An der Kolbenstange befindet sich der Kolben mit dem Kolbenventil *e*. Geht der Kolben in die Höhe, so wird unter ihm die Luft verdünnt. Die Luft in *c* dringt durch das Saugventil *f* in den Stiefel, und wenn die Oeffnung bei *h* im Wasser steht, so steigt das Wasser in der Saugröhre empor. Geht der Kolben herab, so fällt *f* zu; die Luft unter dem Kolben wird zusammengepresst, und wenn der Kolben an dem Saugventil aufsitzt, so kann nur wenig Luft unter dem Kolbenventil zurückbleiben, desshalb wird beim öftern Hinaufgehen des Kolbens *e* die Luft in *c* endlich so sehr verdünnt, dass das Wasser durch das Saugventil *f* emporsteigt, und beim abermaligen Herabgehen des Kolbens über das Ventil *e* tritt. Geht dann *e* abermals hinauf, so fliesst das Wasser bei *d* aus. Das Saugventil darf nicht höher als 20—24 Fuss über der Oberfläche des Wassers stehen, weil letzteres Luft enthält und auch wegen des schädlichen Raumes.

Die *Saug-* und *Druckpumpe*, Fig. 173, dient dazu, um das Wasser zu grösse-n Höhen emporzudrücken. Indem bei dem Zurückziehen des Kolbens das Ventil sich schliesst, wird die Luft in dem darunter befindlichen Raum verdünnt. Es ingt darum Wasser durch das Saugventil *a*, und dieses kann mittelst des Kolbens d des Druckrohrs *b* nun zu einer der Druckkraft entsprechenden Höhe hinaufgeeben werden.

Der *Heber* besteht aus einer gekrümmten Röhre, Fig. 174. Füllt man ihn

mit Wasser und stellt die beiden Enden in Gefässe, in welchen die Oberfläche des Wassers verschiedene Höhe hat, so fliesst dieses aus dem einen durch den Heber in das andere, bis in beiden das Wasser gleich hoch steht. Da aus beiden Röhren das Wasser nach entgegengesetzten Richtungen zu fallen sucht und der Luftdruck das Entstehen eines leeren Raumes im obern Theile verhindert, wenn der Heber nicht über 32 Fuss hoch ist, so sinkt das Wasser in der einen Röhre mit einem Drucke, welcher durch den Unterschied ac der Wasserhöhen a und d in beiden Gefässen bestimmt wird. Das Ende, durch welches Wasser abfliesst, kann auch frei sein. Ebenso können auch 3 oder mehr Röhren verbunden werden. Flüssigkeiten, die man nicht an den Mund bringen darf, saugt man mit dem Giftheber, Fig. 175, auf, indem man ihn vorher am untersten Ende mit dem Finger verschliesst.

Das *Aräometer* von *Ham*, Fig. 176, ist eine Abänderung des schon erwähnten Aräometers von *Scannegatty*, und besteht aus 2 Glasröhren von etwa $^1/_2$ Zoll Weite, die oben durch eine Metallröhre verbunden sind. An letzterer befindet sich ein Sperrhahn. Die beiden Gläser dienen zur Aufnahme der nach ihrer Dichte zu vergleichenden Flüssigkeiten und lassen sich mittelst der Schrauben heben und senken. Sind die Flüssigkeiten bei gleicher Temperatur in die beiden Gläser gebracht, so saugt man an der Röhre über dem Sperrhahn so lange, bis die leichtere Flüssigkeit nahe am obern Ende der Scala steht, verschliesst den Hahn und bewirkt nun mittelst der Schrauben, dass die Flüssigkeitsoberflächen in beiden Gläsern bei zweien in einer horizontalen Ebene befindlichen Strichen, nahe am untern Ende der Glasröhren, stehen. Von diesen Punkten ist der Anfang der Scala zu rechnen. Das umgekehrte Verhältniss der Höhen beider Flüssigkeiten ist das ihrer Dichten, vgl. §. 103.

Fig. 175. Fig. 176.

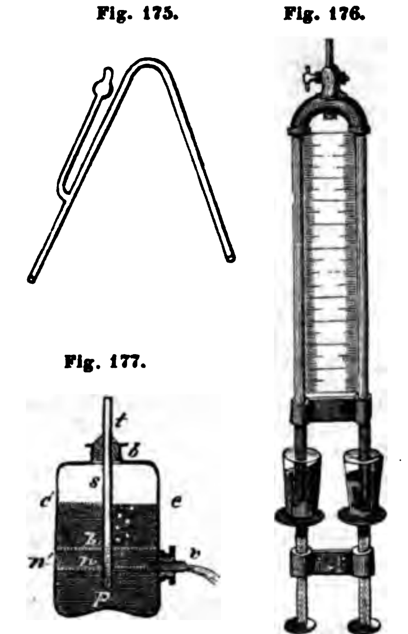


Fig. 177.

In den *Feuerspritzen* und *Windbüchsen* wirkt die verdichtete Luft. In dem Windkessel der erstern drückt sie, wie im Heronsball, auf das Wasser, und erhält einen gleichförmigen Strahl; in den letzteren beschleunigt sie die Geschwindigkeit einer Kugel, indem sie plötzlich aus dem Kolben in den Lauf sich ausdehnen kann.

Das *Mariotte*'sche Gefäss, Fig. 177, hat den Zweck, einen gleichförmig fliessenden, schwachen Wasserstrom zu erhalten. Die luftdicht in dem durchbohrten Kork steckende Röhre t kann hoch oder nieder gestellt werden. Hat sie die Stellung wie in der Figur, so fliesst das Wasser durch die enge Röhre bei v nur so lange, bis in der Röhre das Wasser bei n steht, weil alsdann der Druck der Luft dem Druck des Wassers und der über $c'c$ befindlichen Luft das Gleichgewicht hält. Zieht man aber nun die Röhre so zurück, dass ihr unteres Ende p bei h steht, so fliesst das Wasser vermöge des Drucks der Wassersäule hn aus der Röhre v. Die Beständigkeit des Drucks rührt daher, dass die Spannkraft der über $c'c$ befindlichen Luft durch die bei h eindringenden Luftblasen stets wieder um so viel vermehrt wird, als sie beim Sinken des Wassers durch ihr grösseres Volumen abgenommen hat. Je weiter man die Glasröhre hinaufzieht, desto grösser wird der Druck hn; mit der Quadratwurzel von hn wächst aber die Ausflussgeschwindigkeit.

§. 132.

Mit Hülfe der Luftpumpe bestimmt man die Dichte der elastischen Flüssigkeiten. Man nimmt dazu eine grosse Glaskugel, welche mit einem Hahn versehen ist und auf den Teller der Luftpumpe geschraubt werden kann. Diese macht man luftleer und lässt alsdann atmosphärische

Luft, welche, um vollkommen trocken zu sein, durch eine Röhre mit Chlorcalcium geleitet wird, hineintreten. Nun wird die Kugel gewogen, und nachdem die Luft wieder ausgepumpt ist, abermals ihr Gewicht bestimmt. Der Unterschied gibt das Gewicht der Luftmenge, welche in die Kugel getreten war. Auf diese Art hat man gefunden, dass das Gewicht von 1 Kub. Centim. Luft = $^1/_{770}$ Gramm ist, bei 0° Wärme und 76 Centim. Barometerstand. Bestimmt man nun auf gleiche Art das Gewicht einer andern Gasart, so kann man die Dichte derselben finden. Man nimmt dabei die Dichte der Luft bei 0° Wärme und 76 Centim. Barometerstand gleich 1 an. Gesetzt, die Luft in der Kugel habe 120 Gramm gewogen und das Gas 180, so ist seine Dichte $\frac{180}{120}$ oder 1,5mal so gross als die der Luft. Auf diese Art hat man die Dichte folgender Gase gefunden:

Chlor	= 2,440	Ammoniakgas	= 0,597
Kohlensäure	= 1,529	Stickstoffoxydgas . . .	= 1,040
Sauerstoff	= 1,105	Oelerzeugendes Gas . .	= 0,978
Stickstoff	= 0,972	Flusssäure	= 2,370
Wasserstoff	= 0,069	Schwefelige Säure . .	= 2,247

Um die Gewichtsreductionen zu vermeiden, welche durch den veränderlichen Feuchtigkeitszustand und die Dichte der atmosphärischen Luft nöthig werden, hat *Regnault* an der Waage als Gegengewicht gegen den ersten Ballon, in welchem das Gas gewogen wird, einen zweiten von gleichem Volumen und derselben Glassorte angewendet. Beide werden durch etwas Quecksilber gleichschwer gemacht, ehe die Gewichtsbestimmung der in den ersten gebrachten Gase beginnt.

§. 133.

Wenn man den Rauminhalt der obigen Kugel kennt, so findet man das Verhältniss der Dichte der Luft zu der des Wassers aus ihrem Gewichte. Aus dem Gewichte von 1 Kubikcentim. Luft und der Dichte eines Gases findet man das Gewicht von 1 Kubikcentim. des letztern. Da z. B. die Dichte der Kohlensäure $1\,^1/_2$ ist, so wiegt 1 Kubikcentim. Kohlensäure $1\,^1/_2 \times {}^1/_{770}$ Gr. oder 0,002 Gr. bei gleichem Druck und gleicher Temperatur.

Bei genauen Bestimmungen der Dichte der Gasarten muss Rücksicht genommen werden auf den Barometerstand, die Temperatur des Gases und des Ballons, die unvollkommene Leere des Ballons und den Gewichtsverlust, welchen der Ballon durch die Luft und die Feuchtigkeit beim Wägen erleidet. Davon wird das Wichtigste unter der Wärme vorkommen.

§. 134.

Aus dem allgemeinen Gesetze, §. 104, folgt, dass auch in der Luft ein Körper so viel von seinem Gewichte verliert, als die Luft wiegt, welche er verdrängt. Folgende Erscheinungen erklären sich hieraus von selbst: Ein in der Luft abgewogener Körper wird im luftleeren Raume etwas schwerer sein, wenn das Gewicht, welches zum Abwägen diente, einen kleineren Raum einnahm, und leichter, wenn es einen grösseren Raum, als der gewogene Körper, einnahm. Eine kleine Kugel, Fig. 178, die mit einer grössern, hohlen Kugel bei mittlerer Dichte der Luft im

Fig. 178.



Gleichgewichte war, sinkt, wenn die Dichte zunimmt, und steigt, wenn sie abnimmt. Versieht man den Wagbalken dieses Instrumentes mit einem Zeiger, der die verschiedenen Grade der Dichte auf einer Scala angibt, so hat man *Guericke's Manometer*, welches auch *Dasymeter* genannt wird. Körper, welche weniger wiegen als die Luft, steigen in ihr, wie die Luftballons, die Wolken, der Rauch u. dgl. in die Höhe.

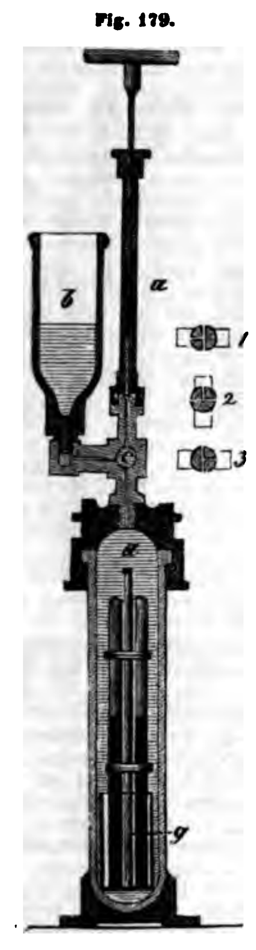
Cavendish's Entdeckung von der grossen Leichtigkeit des Wasserstoffgases veranlasste die Erfindung des Luftballons. Die Brüder *Montgolfier* füllten 1782 den ersten kleinen Aërostaten mit erhitzter Luft. *Charles* und *Pilatre de Rozier* benutzten diese Erfindung und erhoben sich in einem mit Wasserstoffgas gefüllten Ballon 50 Fuss hoch in die Lüfte. Bald darauf machte der letzte von beiden die erste kühne Luftfahrt; bei einer spätern aber verlor er sein Leben. *Blanchard* reiste 1785 von Dover nach Frankreich im Luftschiff. In der Folge bedienten sich die Franzosen der neuen Erfindung im Kriege, um die Stellung der Feinde zu erkennen. Französische Gelehrte unternahmen mehrere wissenschaftliche Luftreisen, und *Gay Lussac* erhob sich bei einer bis zur Höhe von 7000 Meter. Im November 1836 flog *Green* mit zwei Gefährten in einem mit Kohlengas gefüllten Ballon in 19 Stunden von London bis Weilburg.

Wenn man den Durchmesser eines kugelförmigen Ballons $= x$ Fuss setzt, so ist sein Inhalt $= \frac{3{,}14\,x^3}{6}$ Kubikfuss und seine Oberfläche $= 3{,}14\,x^2$ □ Fuss. Da nun ein Kubikfuss Luft ohngefähr $2^1/_4$ Loth wiegt und die erhitzte Luft um ein Drittheil leichter ist, so wird die *Steigkraft* der Luft im Ballon der dritte Theil von dem Gewichte der verdrängten Luft oder $= \frac{3{,}14\,x^3}{6} \cdot \frac{2^1/_4}{3}$. Diese Steigkraft wird durch das Gewicht des Stoffs vermindert, aus welchem der Ballon verfertigt ist. 100 Quadratfuss Maschinenpapier wiegen ohngefähr 60 Lothe, also ist das Gewicht von $3{,}14 \cdot x^2$ □Fuss $= \frac{3{,}14\,x^2 \cdot 60}{100}$ Lothe. Der Ballon schwebt also, wenn $\frac{3{,}14\,x^3 \cdot 2^1/_4}{6 \cdot 3} = \frac{3{,}14 \cdot x^2 60}{100}$, oder wenn $x = 4{,}8$ Fuss Bad. Maass ist. Wird der Durchmesser etwas grösser gemacht, so muss der Ballon steigen. Von Collodium kann man $1^1/_2$ Zoll grosse Ballons verfertigen, welche, mit Wasserstoffgass gefüllt, sich ebenfalls in der Luft erheben. Damit der Ballon, wenn er in dünnere Luftschichten kommt, nicht zerplatzt, darf er nur zum Theil gefüllt werden. Um ihn sinken zu machen, öffnet man ein Ventil, durch welches Gas ausströmt; um ihn wieder steigen zu machen, wirft man einen Theil des Ballastes aus. Dadurch wird eine Art willkürlicher Lenkung bewirkt, indem man sich in diejenigen Luftschichten erhebt und senkt, welche in der verlangten Richtung sich bewegen.

§. 135.

Um die Verdichtung der Luft und anderer Gase auf einen hohen Grad treiben zu können, und zugleich die Veränderungen zu beobachten, welche diese Gase erleiden, reicht der in §. 129 beschriebene Apparat nicht hin, und man bedient sich dazu am besten des *Oersted*'schen Apparates, Fig. 179. Dieser besteht aus einem sehr starken Cylinder dg, welcher oben eine metallene Fassung hat, an die eine kleine Druckpumpe angeschraubt ist. Der Glascylinder dg ist oben offen und enthält Wasser. Der Hahn c ist so durchbohrt, wie die daneben befindlichen Figuren 1. 2, 3 zeigen. In der Stellung 1 verbindet er die mit Wasser gefüllte Glocke b mit a und d; in der Stellung 2 bloss b mit a,

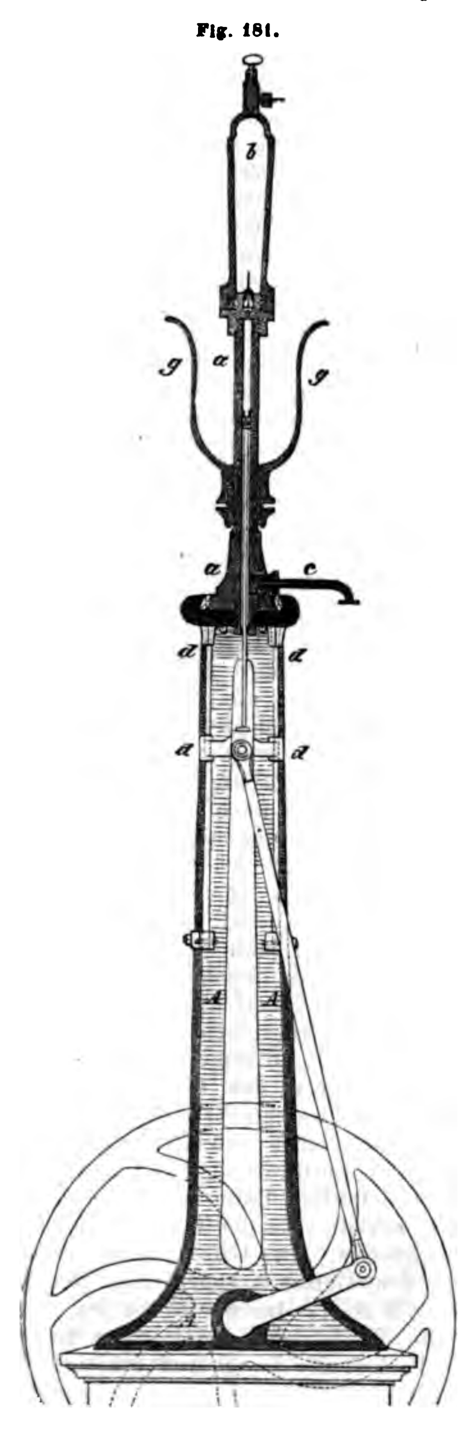
Fig. 179.



unter Verschliessung von *d*. In der Stellung 3 aber wird die Druckpumpe *a* mit *d* verbunden, unter Ausschliessung von *b*. In der Stellung 2 wird der Kolben hinaufgezogen und dann füllt sich der Stiefel mit Wasser aus *b*. Gibt man dem Hahn alsdann die Stellung 3 und drückt man den Kolben herab, so wird das unter ihm befindliche Wasser in den Raum *d* gepresst. Ein Gefäss *g* mit Quecksilber dient dazu, die unten offenen Enden mehrerer Glasröhren, wovon die eine mit Luft, die andern mit den zu comprimirenden Gasarten gefüllt sind, von der äussern Luft abzuschliessen. Die Glasröhren sind gleichweit, und die erste mit einer Eintheilung versehen, um den Grad der Compression aus der Höhe, bis zu welcher das Quecksilber in ihnen steigt, wahrnehmen zu können. Nachdem dieses Gefäss mit den beiden Röhren in den Cylinder gestellt worden ist, wird dieser mit ausgekochtem Wasser gefüllt, die Druckpumpe aufgeschraubt und das Wasser sodann zusammengepresst, weil es nirgends entweichen kann. Das Wasser drückt auf das Quecksilber, und dieses steigt dann in den oben verschlossenen Röhren empor. Nimmt die Luft in der einen Röhre z. B. den zehnten Theil des vorigen Raumes ein, so ist der Druck dem von zehn Atmosphären gleich. Dadurch hat man gefunden, dass z. B. schweflige Säure schon bei $3\frac{1}{2}$ Atmosphären tropfbar flüssig wird. Bei höherem Drucke wurden auch andere Gase in tropfbare Flüssigkeiten verwandelt. Wenn der Druck nachlässt, so nehmen jedoch alle diese Gase ihre vorige Gestalt wieder an. Auch die Compression des Wassers lässt sich durch diesen Apparat nachweisen, wenn man an die Stelle der zweiten Glasröhre das in Fig. 180 abgebildete *Piëzometer* von *Colladon* und *Sturm* bringt. Es besteht aus einer genau calibrirten Thermometerröhre und aus einem daran geschmolzenen weiten Glascylinder; beide sind mit Wasser angefüllt. Drückt man nun auf das Wasser in dem Oersted'schen Apparat, so wird auch das hineingebrachte Sympiëzometer denselben Druck von aussen und innen erleiden. Wäre das Wasser ganz unelastisch, so würde es in dem Glascylinder des Sympiëzometers immer denselben Raum einnehmen. Man bemerkt aber, dass das Quecksilber in der Thermometerröhre steigt, so bald sich der Druck vergrössert. Die Grösse dieses Drucks wird durch die Manometerröhre in dem Gefäss *g* angegeben, und die Grösse der Volumsverminderung des Wassers durch eine an der Thermometerröhre befindliche Scala. Die Theilstriche der letztern müssen wegen der geringen Zusammendrückbarkeit der tropfbaren Flüssigkeiten wenigstens Milliontheile des Volumens vom Sympiëzometer angeben.

Fig. 180.

Fig. 181.



Mit Hülfe dieses Apparates hat man gefunden, dass bei 1 Atmosphäre Druck um folgende Milliontheile des Raumes zusammengepresst werden: Quecksilber 3,38, Wasser 48, Aether 133, Schwefelsäure 82 u. s. w. Um die Gase tropfbarflüssig darzustellen, kann man auch nach *Faraday* den Druck benutzen, welchen sie ausüben, indem sie sich in grosser Menge und verhältnissmässig kleinem Raume entwickeln. Nimmt man z. B. eine in der Mitte gebogene, 2 bis 3 Linien weite Glasröhre, die an dem einen Ende zugeschmolzen ist, bringt etwas Cyanquecksilber hinein, und schmilzt sie auch an dem andern Ende zu, so entwickelt sich, wenn man das Ende, worin das Cyanquecksilber ist, über einer Weingeistlampe erhitzt, das Cyangas in solcher Menge, dass es nach einiger Zeit am andern Ende als tropfbar-flüssig erscheint. *Thilorier* hat mit einem nach diesem Prinzip construirten, aber sehr gefährlichen Apparat, in kurzer Zeit 1 Liter flüssige Kohlensäure dargestellt, wozu ein Druck von 36 Atm. bei 0° Wärme nöthig ist.

Eine ganz sichere Compressionspumpe zu demselben Zweck hat *Natterer* erfunden. Die in Fig. 181 dargestellte Abänderung seiner Construction hat einige Vorzüge, ohne im Wesentlichen verschieden zu sein. Auf dem gusseisernen Gestell *AA* ist das metallene Druckrohr *aa* befestigt, welches durch die Seitenröhre *c* die Gase aus einem Gasometer oder einem Kautschucksack aufnimmt, wenn der Kolben unterhalb der Mündung dieser Seitenröhre steht. Aus dem Druckrohr wird das Gas in die schmiedeiserne Flasche *b* gepresst. Die auf- und abwärts gehende Bewegung des Kolbens wird durch die Drehung des an der Basis von *AA* befindlichen Schwungrads und seiner Kurbel bewirkt. Von der Kurbel geht eine Schubstange an den Schlitten *dd*. Die vertikalen Stäbe *dd*, *dd* bewirken, dass dieser Schlitten immer lothrecht auf- und abwärts geführt wird. An ihm ist die Kolbenstange befestigt, welche da, wo sie in das Druckrohr tritt, durch eine lederne Stopfbüchse geht. An dem Druckrohr lässt sich das kupferne Gefäss *gg* so weit hinaufschieben, dass es die Flasche *b* umgibt. Dieses Gefäss wird mit Eis gefüllt und dient dann zur Abkühlung des Gases in der Flasche; zuweilen aber auch, indem man es herabschiebt,

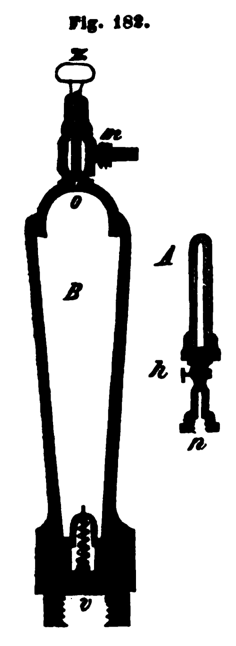


Fig. 182.

zur Abkühlung des Druckrohrs. Aus der Fig. 182 sieht man, dass die Flasche *B* unten ein kegelförmiges Federventil hat, welches sich nach innen öffnet, wie bei einer Windbüchse. Die durch den Kolben hineingepressten Gase können auf diesem Weg nicht wieder entweichen. Die Eisenflasche hat oben eine kleine Oeffnung *o*, welche durch die Schraube *z*, deren unteres Ende kegelförmig ist und in dieselbe passt, geöffnet oder verschlossen werden kann. Durch die Seitenöffnung *m* tritt das Gas in's Freie, oder indem man den Behälter *A* mit der Mutter *n* darüber schraubt, in diesen. Der Behälter *A* besteht aus einer sehr starken Glasröhre von geringer innerer Weite und einem Hahn *h* in messingener Fassung. Befindet sich tropfbar gemachtes Gas in der Flasche, so kehrt man sie um, ehe man dasselbe in den Behälter strömen lässt, der fest an die Flasche über *m* geschraubt sein muss. Schliesst man nachher den Hahn *h* und die Oeffnung *o*, so kann man *A* abschrauben und das tropfbar gewordene Gas betrachten. Sehr rathsam ist es, wenn z. B. comprimirte Kohlensäure in der Röhre ist, dieselbe in ein starkes Cylinderglas mit kaltem Wasser zu stellen, weil sie bei aller Vorsicht springen kann. Lässt man die tropfbarflüssige Kohlensäure nach und nach aus dem Gefäss *B* ausströmen, so erhält man weisse Flocken derselben in fester Gestalt. Es wird nämlich durch die Bildung von gasförmiger Kohlensäure einem Theil der flüssigen Kohlensäure so viel Wärme entzogen, dass sie bis 60° unter Null erkaltet und erstarrt. Diese feste Kohlensäure verdampft allmälig und wird gasförmig. Sammelt man sie in einem Gefäss, indem man die flüssige Kohlensäure hineinströmen lässt, und giesst man Schwefeläther darauf, so entsteht eine Art Brei, der eine Kälte von 78° hat. Darin erstarrt Quecksilber zu einem festen Körper. *Natterer* verwandelte mit seinem Apparat Stickstoffoxydulgas in tropfbare Flüssigkeit, und indem er diese mit Schwefelkohlenstoff mischte und unter der Luftpumpe verdunsten liess, erzeugte er eine Kälte von 140° C. Das flüssige Stickstoffoxydulgas hat eine Temperatur von — 80° und beharrt in der umgebenden Luft und in einer Glasflasche in diesem Zustand. Lässt man kleine Quecksilber- oder Wassertropfen darauf fallen, so erstarren sie augenblicklich. Eine glühende Kohle aber verbrennt darauf äusserst lebhaft, weil dieses Gas die Verbrennung gut unterhält. So hat man Kohle von 2000° Wärme und Flüssigkeit von 80° Kälte neben einander. *Cagniard Latour* hat gefunden, dass der Schwefeläther bei einer gewissen höhern Temperatur durch keinen Druck flüssig wird. *Faraday* schloss daraus, dass die Gase, welche wir nicht tropfbar machen können, es nur bei gleichzeitig grosser Erkältung und starkem Druck werden. Er brachte daher Glasröhren, welche stark comprimirte Gase enthielten, in ein Bad von starrer Kohlensäure und Schwefeläther unter die Luftpumpe und beschleunigte ihre Verdunstung. Dadurch gelang es, ölbildendes Gas, Schwefelwasserstoffgas, Fluorkieselgas, letzteres bei 9fachem Druck und 100° C. Kälte, tropfbar flüssig zu machen. Mit Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff gelang es nicht, obgleich *Andrews* diese Gase durch Kälte und Druck auf den 600ten Theil ihres Volumens reducirte.

§. 136.

Nach dem im §. 99 entwickelten allgemeinen Gesetze über das Gleichgewicht flüssiger Körper muss auch die Luft, wenn sie bloss der Einwirkung der allgemeinen Anziehungskraft unterworfen ist, unsere Erde mit einer kugelförmigen Einhüllung umgeben. Der Druck auf solche Theile, welche dem Mittelpunkte der Erde näher liegen, muss nach diesem Gesetze stärker sein als auf entferntere, und da die Luft sehr ausdehnsam ist, so muss die Dichtigkeit derselben nach oben merklich ab- und nach unten merklich zunehmen. Das Barometer sinkt oder

steigt aus gleichen Ursachen, je nachdem man mit ihm höhere oder niedrigere Orte besucht.

Fig. 183.



Um eine richtige Vorstellung von dem Gesetze zu erhalten, denke man sich eine vertikale Luftsäule, Fig. 183, von 1 □Fuss Grundfläche. Wenn diese Säule in Schichten von 1 Fuss Dicke, also von 1 Kubikfuss Inhalt abgetheilt wird, so kann man innerhalb jeder einzelnen Schichte die Dichte als gleichförmig betrachten, weil sie für eine so geringe Höhe sich nicht merklich ändert. Die Dichte jedes Kubikfusses, folglich auch das Gewicht desselben, ist aber nach dem Mariotte'schen Gesetze dem Druck proportional, welchen die Luft erleidet. Nun sei das Gewicht des untersten Kubikfusses Luft $= p$, das Gewicht des nächsthöhern, dessen Basis 1 Fuss hoch ist, $= p_1$, das des folgenden $= p_2$, und das Gewicht von dem, dessen Basis nFuss hoch ist, $= p_n$. Ferner sei der Luftdruck in 1 Fuss Höhe auf 1 □Fuss Fläche $= P_1$, in 2 Fuss Höhe $= P_2$ und so weiter, so ist der Druck auf den untersten □Fuss $= P_1 + p$. Dieser Druck verhält sich zu dem Druck P_1 in 1 Fuss Höhe, wie p zu p_1; also ist $p_1 = \frac{p \cdot P_1}{P_1 + p}$. Nun ist aber $P_2 = P_1 - p_1$ oder $P_2 = P_1 - \frac{p \cdot P_1}{P_1 + p}$, folglich auch $P_2 = \frac{P_1^2}{P_1 + p}$. Hieraus findet man p_2 mittelst der Proportion $p_2 : p = \frac{P_1^2}{P_1 + p} : P_1 + p$. Es ist also $p_2 = \frac{p \cdot P_1^2}{(P_1 + p)^2}$. Zieht man diess von P_2 ab, so ergibt sich

$$P_3 = \frac{P_1^3}{(P_1 + p)^2}, \text{ und weil}$$

$$p_3 : p = P_3 : P_1 + p, \text{ so ist}$$

$$p_3 = p \cdot \frac{P_1^3}{(P_1 + p)^3}.$$

Auf gleiche Art ergibt sich im Allgemeinen, dass

$$p_n = p \cdot \frac{P_1^n}{(P_1 + p)^n}.$$

Da sich die Gewichte p_n und p wie die Dichten der Luft verhalten, so ist, wenn man die Dichte der Luft in n Fuss Höhe durch d_n und am Boden durch d bezeichnet, auch

$$d_n = d \cdot \frac{P_1^n}{(P_1 + p)^n}.$$

Vergleicht man diese Formel mit derjenigen, welche im §. 127 für die Verdünnung der Luft durch die Luftpumpe gefunden worden ist, so ergibt sich, dass wenn man annimmt, der Recipient hätte zum Stiefel dasselbe Raumverhältniss wie P_1 zu p, die Luft nach dem $n$ten Kolbenzug in dem Recipienten eben so stark verdünnt wäre als in n Fuss Höhe.

In einer Höhe von m Fuss ist die Dichte

$$d_m = d \cdot \frac{P_1^m}{(P_1 + p)^m}.$$

Dividirt man diese durch die obige Gleichung, so ist

$$\frac{d_m}{d_n} = \frac{P_1^{m-n}}{(P_1 + p)^{m-n}}.$$

Da sich aber die Dichten wie die Barometerstände oder wie die pressenden Kräfte verhalten, so ist auch, wenn man den Barometerstand in m Fuss Höhe durch B und den in n Fuss Höhe durch b bezeichnet,

$$\frac{B}{b} = \frac{P_1^{m-n}}{(P_1 + p)^{m-n}}.$$

Daraus folgt, dass

$$\log B - \log b = (m - n) [\log P_1 - \log (P_1 + p)]$$

oder wenn man die Zeichen verwechselt, dass

$$\log B - \log b = (n - m) [\log (P_1 + p) - \log P_1].$$

Nun ist aber $n - m$ die Zahl der Fusse, um welche n grösser ist als m, oder die Höhe des ersten Orts über dem zweiten. Setzt man also $n - m = h$, so wird

$$h = \frac{\log B - \log b}{\log (P_1 + p) - \log P_1}$$

Die Voraussetzungen, welche hier für Fusse gemacht wurden, gelten auch für Meter. Nun ist nach §. 123 der Luftdruck auf 1 □Meter an der Oberfläche der Erde oder $P_1 = 10330$ Kilogr., und nach §. 132 das Gewicht von 1 Kub.-Met. Luft oder $p = \frac{1000}{770}$ Kilogr., folglich in Metern

$$h = \frac{\log B - \log b}{\log 1{,}0001257} = 18382 (\log B - \log b);$$

dieses gibt in Pariser Fussen

$$h = 56488 (\log B - \log b).$$

Man findet also durch diese Formel die Höhe eines Berges in Pariser Fussen, wenn B den Barometerstand am Fusse und b den am Gipfel des Berges bedeutet. Dieser Ausdruck passt übrigens nur, wenn die Temperatur an beiden Orten gleich ist.

Genaue Formeln und Tafeln für alle Fälle haben *Gauss* und *Oltmann* angegeben, in Schumachers Jahrbuch für 1836. Wo keine grosse Genauigkeit erfordert wird, reicht folgende Formel hin:

$$h = 18382 (1 + 0{,}002 (t + T)) (\log. B - \log. b) \text{ Meter},$$

wo t und T die Temperaturen an beiden Orten in Centesimalgraden bedeuten.

Dieser Formel gemäss findet man, dass, wenn bei hohem Druck die Gase nicht tropfbar würden, die Dichte der Luft in einer Tiefe von 100 Meilen schon grösser als die des Goldes sein würde, und dass sie in einer Höhe von 5 Meilen schon geringer ist als sie unter einer guten Luftpumpe wird. Man nimmt an, dass in einer Höhe von 60000 Meter die Dämmerung aufhört. Die Wirkungen der Verdünnung auf hohen Bergen sind in Beziehung auf Schall, Barometerstand, Lebenskraft u. s. w. dieselben, welche man unter der Luftpumpe beobachtet. Die ausserordentliche Ermüdung beim Gehen auf sehr hohen Gebirgen ist eine Folge des abnehmenden Luftdrucks, indem nach der Entdeckung der beiden *Weber* der Schenkelkopf in der Beckenpfanne durch den Luftdruck erhalten wird. Wenn also dieser so weit abnimmt, dass er dem Gewichte des Beines nicht mehr gleich ist, so muss dieses beim Gehen von den Muskeln getragen werden.

Die mittlere Höhe des Barometerstandes am Meere ist verschieden. Er scheint nach *Erman's* Beobachtungen unter *demselben Meridian* mit wachsender geographischer *Breite* abzunehmen, aber er ist auch von der *Länge* des Orts abhängig, und der Unterschied kann sogar bis 3 Linien betragen. So z. B. beträgt er im Meridian der Azorischen Inseln, in der Breite der Passat-Zonen 339,226 Pariser Linien, und nimmt von dort aus, sowohl nach Osten als nach Westen, ab. An der Nordsee beträgt er 336 bis 337 Linien, am Aequator 338 bis 339 Linien, an der Ostsee 337,008. Hierbei ist der Einfluss der gegen den Aequator abnehmenden Schwerkraft auf das Quecksilber unverkennbar. Von der Meeresfläche muss man ungefähr 70 Fuss steigen, um das Barometer 1 Linie sinken zu machen. *Schulten* fand, dass die Veränderungen im Luftdrucke mit der Höhe des Meeres im Zusammenhange stehen; indem letztere abnimmt, wenn das Barometer steigt, und umgekehrt. Die Höhe eines Ortes über der Meeresfläche findet man nach den angegebenen Formeln, wenn man für b und B den mittlern Barometerstand an beiden Orten einführt. Da jedoch aus den Beobachtungen zweier, um 30 bis 40 Meilen von einander entfernter Orte, welche nur einen Monat fortgesetzt wurden, sich ergab, dass der mittlere Unterschied der Barometerhöhen um mehr als eine Linie unrichtig sein kann, so folgt daraus, dass erst aus sehr vielen Beobachtungen der mittlere Barometerstand entnommen werden darf, wenn die Höhenunterschiede richtig berechnet werden sollen, oder dass an mehreren Punkten rings um den Ort oder das Land, dessen Höhenpunkte bestimmt werden sollen, gleichzeitig Barometerbeobachtungen gemacht werden müssen. Durch diese von *Bessel* vorgeschlagene Methode wird es möglich, die Veränderungen des Drucks der Atmosphäre, welche nicht gleichzeitig an allen Beobachtungsorten stattfinden, für die im Innern gelegene Punkte auszumitteln.

Regelmässige Schwankungen oder Variationen des Barometers treffen fast überall zu denselben Tagesstunden ein, und zwar in folgender Ordnung: 4 Uhr Morgens erstes Minimum; 10 Uhr Morgens erstes Maximum; 4 Uhr Nachmittags zweites Minimum; 10 Uhr Abends zweites Maximum. Im Sommer treten die beiden Wendepunkte des Morgens 1 bis 2 Stunden früher, und die beiden Wendepunkte des Abends um eben so viel später ein. Diese regelmässigen Schwankungen hat *A. v. Humboldt* entdeckt. Sie sind in den Tropenländern am leichtesten zu beobachten, weil dort der Einfluss der Witterung weit geringer ist als in der gemässigten Zone, indem dort z. B. bei den heftigsten Stürmen das Barometer keine Schwankungen zeigt.

Eine sehr bequeme Art, die Veränderungen des Barometerstandes aufzuzeichnen und zu übersehen, besteht darin, dass man ein Gitter entwirft, dessen horizontale und vertikale Striche um 1 Pariser Linie, oder um beliebige Theile derselben von einander entfernt sind, den jedesmaligen Stand in der entsprechenden Höhe im Gitter durch einen Punkt bezeichnet und mit dem vorhergehenden durch eine Linie verbindet. Ueber den Zusammenhang des Barometerstandes mit der Witterung mögen folgende Andeutungen hier genügen. Das Fallen vor schlechtem Wetter rührt wahrscheinlich von einer Abnahme der Ausdehnsamkeit der Wasserdämpfe in der Atmosphäre her, die nach und nach so gering wird, dass die Dämpfe als Regen herabfallen. Der Grund dieser Abnahme ist hauptsächlich in Winden und Gewittern zu suchen. Vor eintretenden Stürmen sinkt das Barometer sehr bestimmt. Auch hat die *Richtung* der Winde einen sehr entschiedenen Einfluss. In einem grossen Theile des westlichen Europa's steht es am niedersten, wenn der Wind südwestlich ist.

Nach den Beobachtungen von *Flaugergues* ist der mittlere Barometerstand des Tages am höchsten zur Zeit des letzten Mondviertels, am niedrigsten im zweiten Viertel; und nach *Schübler* fallen die wenigsten Regentage auf das letzte Viertel und die meisten auf das zweite und dritte.

§. 137.

Da leichtere Flüssigkeiten dem Gesetze der Schwere gemäss über schwere emporsteigen müssen, so sollten sich auch in der Atmosphäre die verschiedenen Gasarten und Dünste nach ihrer Dichte über einander lagern. Diess findet jedoch nicht in allen Fällen statt, und es sind daher diejenigen Erscheinungen, bei welchen dieses Gesetz stattfindet, von denen zu trennen, bei welchen es nicht befolgt wird.

Wenn an einem Orte die Luft erwärmt wird, so steigt sie in die Höhe, und es tritt kältere an ihre Stelle, weil jene durch die Ausdehnung leichter geworden ist. Wenn man aber kohlensaures Gas in einem offenen Glase ruhig hinstellt, so findet man zwar kurze Zeit nachher, dass der Boden des Glases noch mit einer Schichte kohlensauren Gases bedeckt ist; nach längerer Zeit verschwindet dieses aber immer mehr, und zuletzt enthält das Glas nur noch atmosphärische Luft mit derselben geringen Quantität kohlensauren Gases, wie die übrige Luft. Dieselbe Erscheinung findet bei allen Gasen statt.

Aus dem Emporsteigen der leichtern Flüssigkeit in einer schwereren erklären sich manche Erscheinungen. In geheizten Zimmern strömt durch die geöffnete Thüre warme Luft oben hinaus und kalte unten hinein. In dem Schatten einer Wolke bemerkt man einen Luftstrom, welcher nach der Gegend hinzieht, wo die Sonne scheint. Von den Inseln strömt bei Nacht die Luft dem wärmern Meere zu, bei Tage aber vom Meere nach dem Lande, weil dieses durch die Sonne schneller erwärmt wird u. dgl. m.

§. 138.

Die im vorigen §. erwähnte Erscheinung ist ganz allgemein, indem sich alle elastischen Flüssigkeiten, den Gesetzen der Schwere scheinbar entgegen, vermöge ihrer Expansivkraft, sowohl in andern Gasen, als auch in Flüssigkeiten und festen Körpern vertheilen. *Berthollet* verband zwei Glaskugeln, von denen die untere mit Kohlensäure, die obere mit dem viel leichtern Wasserstoffgas gefüllt war, durch eine enge Röhre mit einander. Nach einiger Zeit war die Kohlensäure und das Wasserstoffgas in beiden gleichförmig verbreitet. Man nennt diese Erscheinung die *Diffusion* der Gase. Aus ihr geht hervor, dass die Massentheilchen des einen Gases gegen die des andern sich ganz passiv verhalten, und jedes Gas für sich eine Atmosphäre zu bilden sucht. Wenn also in einem Zimmer kein Sauerstoff ist, obschon die andern Gase mit dem Stickstoff zusammen eben so grosse Expansivkraft haben als die äussere Luft, so ist dieses Zimmer für den Sauerstoff gleichsam luftleer. Er strömt daher von aussen herein, und weil die andern Gase aussen eine geringere Expansivkraft haben als innen, so strömt ein Theil von diesen hinaus. Die Verhältnisse der Geschwindigkeiten, mit denen diess geschieht, sind daher auch ganz dieselben, welche beim Ausströmen der Gase überhaupt gelten und die im §. 146 und 147 vorkommen werden. Die Diffusion ist die Ursache von der im §. 47 erwähnten gleichartigen Verbreitung des Sauerstoffs und des Stickstoffs in jeder Höhe der Atmosphäre.

Wenn ein Raum zwei oder mehrere Gase enthält, die sich chemisch nicht verbinden, *so ist die Expansivkraft oder der Druck aus obigem Grunde gleich der Summe der Pressungen der einzelnen Gase.* Der Luftdruck ist darum gleich der Summe der Pressungen des Sauerstoffs, Stickstoffs, der Kohlensäure und des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes. Es verhält sich gleichsam jedes Gas in Beziehung auf die andern wie ein leerer Raum, oder seine Spannkraft setzt der des andern Gases keinen Widerstand entgegen.

Graham bediente sich zur Untersuchung der Geschwindigkeit, mit welcher die Diffussion erfolgt, eines Instrumentes, welches aus einer Glasröhre von 0,4 Zoll Durchmesser bestand, in deren Mitte eine Glaskugel von 2 Zoll Durchmesser geblasen war. Das obere Ende der Röhre über der Kugel war mit Gyps verschlossen. Das Instrument wurde nun z. B. mit Wasserstoffgas gefüllt und in eine Glasflasche

gebracht, auf deren Boden sich etwas Wasser befand; in dem Maasse, als dieses beim Entweichen des Gases durch den Gyps sich hob, wurde Wasser zugegossen, um das Niveau stets gleich zu erhalten, und nachdem das Wasserstoffgas gänzlich entwichen war und das Niveau nicht mehr stieg, wurde das Volumen der Röhre, welches nun mit Luft gefüllt war, mit dem Volumen, welches das Wassertoffgas eingenommen hatte, verglichen. Es ergab sich, dass sich das *erste Volumen zum letztern verhielt, wie die Quadratwurzel der Dichte des Wasserstoffgases zur Quadratwurzel der Dichte der Luft*. Dasselbe Gesetz fand *Graham* auch für die übrigen Gasarten. Dieses Gesetz gilt jedoch nur so lange, als auf den Gegendruck des ausgeströmten Gases und die von der Natur des Diaphragma's, durch welches das Gas geht, herrührende Reibung keine Rücksicht genommen ist. Ist aber der Gegendruck merklich, wenn ein Gas in ein anderes Gefäss einströmt, so ist nach *Bunsen* die Geschwindigkeit, 1) der Druckdifferenz auf beiden Seiten des Diaphragma's und 2) einem Reibungs-Coëfficienten proportional, der von der Natur des Gases und Diaphragma's abhängt.

Vermöge der Diffusion entweicht z. B. nach längerer Zeit das Wasserstoffgas aus gläsernen Flaschen, die umgekehrt und unten sogar durch Quecksilber geschlossen sind, so wie aus irdenen Röhren, aus denen andere Gase nicht entweichen.

§. 139.

Auf die Verbreitung der Gase in elastischen Flüssigkeiten folgt die Anziehung fester Körper gegen dieselben. Sie bewirkt eine Verdichtung des Gases an der Oberfläche des anziehenden Körpers, und wenn er porös ist, auch an der Oberfläche eines jeden seiner Theilchen, also auch in seinem Innern. Von dem verschwundenen Gase sagt man, es sei von dem festen Körper absorbirt.

In besonders hohem Grade zeigt dieses Vermögen poröse Kohle. Wenn man eine oben verschlossene Glasröhre mit Quecksilber füllt, in ein Gefäss mit Quecksilber stellt, sodann mit einem der nachstehenden Gase füllt, und durch die Sperrflüssigkeit eine glühende Buchsbaumkohle ablöscht und in die Röhre bringt, so findet man, dass 1 Raumtheil dieser Kohle 1,75 Stickstoffgas, 9,25 Sauerstoffgas, 35 kohlensaures Gas, 65 schwefligsaures Gas, 85 salzsaures Gas, 90 Ammoniakgas verschluckt. Bei geringerem Luftdrucke verdichtet die Kohle dem Maasse nach mehr, dem Gewichte nach weniger. Bei höherer Temperatur ist die Absorption schwächer als bei niederer; ebenso in Kohle mit weitern Poren. Manche Gase werden in einem porösen Körper so stark verdichtet, dass dadurch eine chemische Verbindung und Entzündung hervorgebracht wird, wie z. B. wenn Schwefelwasserstoffgas und Sauerstoffgas mit Kohle, oder Sauerstoffgas mit Wasserstoffgas mit fein vertheilter Platina, Gold, Silber und anderen Metallen in Berührung kommen. Aber nicht nur porösen Körpern, sondern selbst Platten von Platin, Gold und Palladium kommt die Eigenschaft zu, Gase mit einander zu *verbinden*, wenn die Oberfläche nur völlig von jeder fremden Substanz gereinigt ist. *Faraday* schreibt diese Erscheinung der verdichtenden Anziehungskraft dieser Metalle gegen die Gase zu. Die Atome der beiden Gase werden nach ihm dabei einander so sehr genähert, dass ihre Vereinigung möglich wird. Indem sowohl durch die Verdichtung der Gase als durch ihre Verbindung viel Wärme frei wird, geräth das Metall in's Glühen, und das Wasserstoffgas entzündet sich bei der Gegenwart von Sauerstoffgas. Dass oxydirbare Metalle diese Eigenschaft nicht haben, obgleich auch sie an ihrer Oberfläche die Gase verdichten, rührt nach *Henry* daher, dass die stärkere Verwandtschaft der Metalltheilchen zum Sauerstoff die Verbindung des letztern mit dem Wasserstoff verhindert. Auch Wolle, Seide, Meerschaum und andere Körper verschlucken manche Gasarten, wenn sie durch Wärme oder unter der Luftpumpe vorher gereinigt worden sind; daher rührt ohne Zweifel die desinficirende Kraft der Wärme. An der Oberfläche selbst glatter Körper bemerkt man, dass verschiedene Gase adhäriren. In einer trockenen Glasröhre steigen Luftblasen auf, wenn ganz luftfreies Quecksilber darin gekocht wird. Die gläsernen Stöpsel sind mit verdichteter Luft überzogen und verhindern dadurch ein hermetisches Schliessen der Flaschen. Das oben bemerkte Entweichen des Wasserstoffgases erklärt sich aus dem auf gleichem Wege erfolgenden Eindringen der atmosphärischen Luft durch die Diffusion. Das Barometer enthält immer nach langer Zeit wieder Luft, wenn es auch auf's Sorgfältigste davon befreit war. Auflösungen kochen erst bei höherer Temperatur als Wasser, weil die Anziehung der festen

Körper gegen das sich bildende Wassergas erst überwunden werden muss. Wasserdämpfe werden an festen Körpern wieder zu Wasser, verdichten sich und befeuchten jene, und bei manchen Körpern, wie bei Chlorcalcium, wird diese Anziehung benutzt, die Luft vollkommen trocken zu machen. Der thonigte Boden ist feucht, ohne dass es regnet, weil er die in der Luft enthaltenen Wasserdämpfe verdichtet. Aus allem diesem folgt, dass nach einiger Zeit jeder Körper von einer verdichteten Gasschichte eingehüllt ist und in Folge davon die Dämpfe oder Gase anderer Art weniger oder in anderer Weise verdichtet, als ein Körper, dessen Oberfläche noch vollkommen rein ist. Metallplatten werden von dieser Schichte durch Glühen und nachheriges Putzen mit frisch geglühtem Trippel befreit.

Setzt man ein Siegel von Stahl, welches nicht frisch gereinigt ist, auf eine frisch gereinigte Glasplatte und lässt es ohngefähr eine Stunde darauf stehen, so zeigt sich, wenn man die Glasplatte nachher behaucht, das deutliche Bild des Siegels. Wird dieser Stempel auf eine reine Silberplatte gesetzt und diese nach einiger Zeit in Quecksilberdämpfe von 100° gebracht, so zeigt sich bald ein dauerndes und deutliches Bild desselben. Diese Versuche gelingen auch noch, wenn der Stempel höchstens 1/4 Linie von der Silberplatte entfernt ist. Hier geht an den Stellen, welche z. B. den erhabenen Stellen des Stempels gegenüber liegen, eine andere Verbindung der Gase vor sich, als an den übrigen Stellen, weil die Molekularkräfte anders beschäftigt sind und verdichtetes Gas vom nahen Stempel in gerader Linie herüber gezogen haben, während dieses gegenüber von den entfernten Stellen nicht geschah. Diese verdichten weniger Quecksilber- oder Wasserdämpfe, weil sie schon mit einer Gasschichte bedeckt sind. *Waidele* hat zur Bestätigung dieser Erklärung der *Moser*'schen Versuche sogar gezeigt, dass alle diese Erscheinungen nicht stattfinden, wenn Platte und Stempel ganz rein sind, oder wenn beide mit Kohlensäure dadurch ganz überzogen sind, dass sie lange in Kohlenpulver gelegen haben. Aehnliche Erscheinungen finden statt, wenn man auf eine nicht sorgfältig gereinigte Platte einen durchbrochenen Papierschirm legt und nach dem Behauchen derselben das Wasser verdampfen lässt. Indem das Wasser verdampft, nimmt es einen Theil des an dieser Stelle verdichteten Gases mit oder bewirkt sonst eine Veränderung in demselben; so dass nachher dort Quecksilberdämpfe anders verdichtet werden als anderwärts.

In der Anziehung der Kohle und anderer Körper gegen manche Riech- und Farbstoffe ist die Ursache ihrer reinigenden Kraft zu suchen. Besonders geeignet ist hiezu die Knochenkohle; sie entfärbt den rothen Wein, nimmt dem Branntwein und übelriechenden Wasser seinen Geruch, dient zum Entfärben des Zuckers und wird noch zu vielen andern Zwecken im Grossen angewendet.

§. 140.

Die Anziehung der Flüssigkeiten gegen Gase ist die Ursache, warum diese an der Oberfläche derselben, und, bei der leichten Verschiebbarkeit ihrer Theilchen, auch in ihrem Innern verdichtet werden. Die *Menge des absorbirten Gases* hängt sehr von der Natur des Gases ab, sie nimmt nach einem noch unbekannten Gesetz mit der Temperatur der Flüssigkeit ab und *ist bei gleichbleibender Temperatur dem Druck des Gases proportional*, wenn keine chemische Verwandtschaft des Gases zur Flüssigkeit stattfindet.

Bunsen, welcher in neuester Zeit über die Absorption der Gase genaue Untersuchungen angestellt hat, nennt das auf 0° u. 0,76 Met. Quecksilberdruck reducirt gedachte Gasvolumen, welches von der Volumeneinheit einer Flüssigkeit unter dem Quecksilberdruck 0,76 Met. absorbirt wird, den Absorptions-Coëfficienten. Dieser ist z. B. für Kohlensäure = 1,7967. Für höhere Temperaturen als 0° wird er ausgedrückt durch

$$\alpha = 1{,}7967 - 0{,}07761 \,.\, t + 0{,}0016424 \,.\, t^2$$

für Stickstoff ist $\alpha = 0{,}20346 - 0{,}00053887\, t + 0{,}000011156 \,.\, t^2$

für Wasserstoff $\alpha = 0{,}0193$ bis 20°

für Sauerstoff $\alpha = 2{,}0225$mal den Absorptions-Coëfficienten des Stickstoffs. Ist die Flüssigkeitsmenge h und der Druck Δ, so absorbirt die

erstere das Volumen $\varDelta h \alpha$. Darnach nimmt also z. B. eine Maass Wasser bei 15° und bei einfachem atmosphärischem Druck nur ungefähr eine Maass Kohlensäure auf, und bei dreifachem Druck drei Maass. Hört aber der Druck auf, so entweicht ein Theil des Gases wieder, und zwar häufig ein so grosser Theil, dass weniger davon in der Flüssigkeit zurückbleibt, als bei einfachem Drucke von ihr aufgenommen worden wäre, weil die rasch entweichenden Gastheilchen die andern mit sich fortreissen. Hat eine Flüssigkeit schon eine gewisse Menge von einem Gase aufgenommen, so kann ein Theil derselben durch eine andere Gasart wieder daraus verdrängt werden. Der Grund dieser Erscheinung ist jedoch nicht in einem bestimmbaren Verhältnisse zur chemischen Verwandtschaft zu suchen. So nimmt z. B. 1 Maass Wasser 1 Maass kohlensaures Gas bei 15° auf. Bringt man diese Mengung in einem verschlossenen Gefässe in Berührung mit $\frac{1}{2}$ Maass Stickgas, so wird sehr wenig Stickgas absorbirt, jedoch durch dieses ungefähr $\frac{1}{2}$ Maass kohlensaures Gas verdrängt.

Ausserdem dass das Absorptions-Vermögen der Flüssigkeiten gegen die Gase durch die Wärme vermindert wird, kann es auch durch Berührung mit andern Körpern, durch Luftveränderung, durch das Gefrieren der Flüssigkeit und durch Vermischung mit andern Flüssigkeiten, die ein geringeres Absorptionsvermögen haben, geschwächt werden. So hat Wasser, welches mit Metallen in Berührung kommt, weniger Anziehung gegen Wassergas als vorher; daher entwickeln sich die Dampfblasen an einem Platindrahte, welcher in warmes Wasser getaucht wird, selbst wenn dieses noch nicht zum Kochen gekommen ist, und darum kocht Wasser auch in metallenen Gefässen bei geringerer Wärme als in andern. Indem Glas eine grosse Anziehung gegen Wasserdämpfe äussert, so müssen diese, wenn sie durch Kochen in gläsernen Gefässen entstehen, erst jene Anziehungskraft überwinden, ehe sie sich von den Wänden losreissen können; sie müssen daher heisser sein, als die in der Mitte des Wassers sich bildenden Dämpfe, wenn sie an die Oberfläche gelangen. Darum veranlassen sie dort ein heftiges Aufwallen und Spritzen. Wenn man Draht oder Blech in das Gefäss legt, so wird dieses Aufwallen vermieden aus der im Vorhergehenden angegebenen Ursache.

Nach der Bestimmung der Absorptions-Coëfficienten hat *Bunsen* die Untersuchung der Bestandtheile eines Gasgemisches auf rein physikalischem Wege durchgeführt. Es seien z. B. die Absorptions-Coëfficienten zweier Gase α und β, beim Druck 0,76 M., welcher zur *Einheit* des Drucks diene. Ihr Gesammtvolumen vor der Absorption sei gleich V unter dem Druck P. Nun werde das Gasgemisch mit Wasser vom Volumen h geschüttelt, bis nichts mehr absorbirt wird. Nach der Absorption sei das Volumen des Gasgemisches noch $V_{,}$ unter dem Druck $P_{,}$; so kann man das auf den Druck 1 reducirte Volumen x des ersten Gases und also auch das Volumen y des zweiten auf folgende Art finden: Es seien die einzelnen Volumina der nicht absorbirten Gase $x_{,}$ und $y_{,}$ beim Druck 1, so ist der Druck, den $x_{,}$ im Raum $V_{,}$ ausübt, oder $\varDelta = \frac{x_{,}}{V_{,}}$, folglich nach dem Absorptions-Gesetz §. 140 das Volumen des von der Flüssigkeits-Menge h absorbirten ersten Gases $= \frac{x_{,}}{V_{,}} \cdot \alpha h$. Es ist aber das Volumen des übrigen und des absorbirten ersten Gases zusammen gleich x, folglich $x = x_{,} + \frac{x_{,}}{V_{,}} \cdot \alpha h$; daraus folgt, dass $x_{,} = \frac{x V_{,}}{V_{,} + \alpha h}$ ist. Dieses nicht absorbirte Gasvolumen $x_{,}$ übt in dem Raum $x_{,}$ den Druck 1, folglich in dem Raum $V_{,,}$ in den es sich ausgedehnt hat, den Druck $\varDelta_{,} = \frac{x_{,}}{V_{,}}$ aus. Führt man

den obigen Werth von x, hier ein, so wird $\varDelta_{,} = \frac{x}{V_{,} + \alpha h}$. Ebenso findet man den Druck des zweiten Gases oder $\varDelta_{,,} = \frac{y}{V_{,} + \beta h}$, und da der Druck $\varDelta_{,}$ und $\varDelta_{,,}$ zusammen den Druck $P_{,}$ geben müssen, so ist

$$P_{,} = \frac{x}{V_{,} + \alpha h} + \frac{y}{V_{,} + \beta h}.$$

Das Volumen x und y beim Druck 1, wird beim Druck P gleich $\frac{x}{P}$ und $\frac{y}{P}$, folglich auch

$$V = \frac{x}{P} + \frac{y}{P}.$$

Aus den zwei letzten Gleichungen ergeben sich die Volumina x und y, und es ist damit der Weg gezeigt, wie bei drei und mehr Gasen zu verfahren ist. Die Beschreibung des zu solchen Untersuchungen dienenden *Bunsen*'schen *Absorptiometers* und der damit anzustellenden Messungen würde hier zu viel Raum wegnehmen und ist in seiner Gasometrie zu finden.

§. 141.

So wie sich Gase in tropfbaren Flüssigkeiten verbreiten, so verbreiten sich auch tropfbare Flüssigkeiten in den Gasen, indem sie Luftgestalt annehmen oder zu *Dämpfen* (Dünsten) werden. Der Verdünstung sind ausser dem Wasser auch andere Flüssigkeiten unterworfen, wie Weingeist, Aether, Quecksilber u. dgl., und zwar um so stärker, je leichter sie zum Sieden gebracht werden. Die Bildung der Dämpfe erfolgt um so rascher, je geringer der Druck des Gases ist, welches die Oberfläche der verdünstenden Flüssigkeit begränzt; ferner je höher die Temperatur ist, und je weniger Dämpfe von derselben Materie der Raum schon enthält, in welchem sie sich entwickeln. Ist dieser Raum begränzt, so nimmt die Dichte und Expansivkraft der sich bildenden Dämpfe nur bis zu einem gewissen Grade zu, welcher der *Sättigungspunkt* heisst. Die Dämpfe haben alsdann für diese Temperatur das Maximum ihrer Expansivkraft erlangt. Sobald dieses erreicht ist, so bilden sich von derselben Flüssigkeit und bei der nämlichen Temperatur nicht mehr Dämpfe in ihm. Wird aber die Temperatur erhöht, so nimmt sowohl die Ausdehnsamkeit als die Menge der Dämpfe zu. Und wird dieser Raum verengt, so wird ein Theil der Dämpfe wieder zu tropfbarer Flüssigkeit. Die Dampfbildung erfolgt im luftleeren, wie im lufterfüllten Raume, und bei jeder Temperatur, bei welcher man sie bis jetzt hervorzubringen suchte. Da jedoch die Wärme auf die Expansivkraft der Dämpfe einen grossen Einfluss ausübt, so können hier nur diejenigen Eigenschaften derselben untersucht werden, welche ihnen bei gleichbleibender Temperatur zukommen.

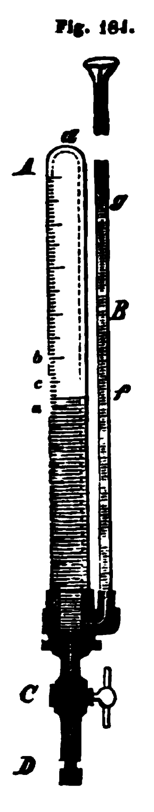
Unter der Luftpumpe verdunstet ein Tropfen Wasser viel schneller, wenn die Luft um ihn verdünnt wird, als im lufterfüllten Raume. Warmes Wasser geräth im luftleeren Raume in dieselbe rasche Verdunstung, wie beim Kochen. Hört man aber auf, die gebildeten Wasserdünste herauszupumpen, so hört auch das Kochen auf, weil der Raum unter der Glocke mit Dämpfen gesättigt ist. Bringt man in den luftleeren Raum der Barometerröhre (Fig. 147, Seite 120) von unten einige Tropfen Wasser, so verdunsten diese zum Theil; das Quecksilber fängt an zu sinken und bleibt alsdann, wenn auch noch Wasser unverdunstet darüber steht, in einer gewissen Höhe stehen. Bringt man aber ein

erwärmtes Kupferblech in die Nähe des luftleeren Raumes, so fängt das Quecksilber auf's Neue zu sinken an, weil sich die Expansivkraft der gebildeten Dünste vergrössert und neue Dämpfe gebildet werden. Ist dagegen der luftleere Raum mit Dämpfen gesättigt, und neigt man die Röhre, so bleibt das Niveau des Quecksilbers in der Röhre so hoch als es war; der Dampf wird aber auf einen kleinern Raum beschränkt und dabei zum Theil wieder in Wasser verwandelt, weil dieser kleinere Raum, wenn er z. B. nur halb so gross ist als der vorige, im Zustande der Sättigung auch nur halb so viel Dampf aufnimmt. Im Zustande der Sättignng nimmt also die Elastizität der in einem gewissen Raume enthaltenen Dämpfe durch erhöhten Druck nicht zu, sondern sie bleibt unverändert. Ist jener Raum dagegen nicht gesättigt, so befolgen sie so lange das Mariotte'sche Gesetz, bis die Sättigung eintritt. Wenn also die eingeschlossene Luft mit Wasserdämpfen gesättigt ist und man drückt sie langsam in einen kleinern Raum zusammen, um die Temperatur der Dünste nicht zu erhöhen, so wird auch ein Theil der letztern wieder verdichtet und fällt als Nebel nieder. Dasselbe bemerkt man, wenn die Temperatur schnell abnimmt, wodurch die Expansivkraft der Dämpfe vermindert wird. Hieraus erklärt sich die Bildung der Wolken, der Nebel und des Regens. In den erstern schwebt der versetzte Stoff noch in der feinsten Zertheilung in Tröpfchen oder in feinen Bläschen in der Luft, ist aber nicht mehr durchsichtig und klar, wie vorher.

§. 142.

Eine der wichtigsten Eigenschaften der Dämpfe ist das von *Dalton* entdeckte und, wie schon gesagt, für alle Gase giltige Gesetz, *dass Dämpfe in einem Gase, zu dem sie keine chemische Verwandtschaft haben, bei derselben Temperatur dieselbe Expansivkraft besitzen, wie in der Luftleere, und dass sie mit der zunehmenden Dichte jenes Gases ihre eigene Dichte und Expansivkraft nicht verändern.* Um das Dalton'sche Prinzip durch den Versuch nachzuweisen, nehme man zuerst eine mit Quecksilber gefüllte und ausgekochte Barometerröhre, deren unteres Ende in einer Schaale mit Quecksilber steht, und bringe von unten einige Tropfen Wasser hinein, so werden diese emporsteigen, zum Theil in dem luftleeren Raume verdunsten, und das Barometer wird nach eingetretener Sättigung bei einer mittleren Temperatur von 13° R. in Folge des Druckes der elastischen Dämpfe um $^1/_2$ Pariser Zoll sinken. Die Expansivkraft des Dampfes beträgt also bei dieser Temperatur ohngefähr $\frac{1}{56}$ von dem Drucke der Luft bei 28 Zoll Barometerstand.

Zur weitern Untersuchung des obigen Gesetzes bedient man sich am bequemsten des Apparates von Magnus, Fig. 184. Dieser besteht aus einer weiten Glasröhre A und einer damit communicirenden längern Röhre B. Die erste ist oben verschlossen und unten mit einer eisernen Fassung versehen, durch welche die Röhre des eisernen Hahns C geht. In den untern Theil dieser eisernen Röhre passt der eiserne Cylinder D, welcher innen ausgebohrt ist, um so viel Wasser aufzunehmen, als in der Glasröhre A verdunsten kann. Ist nun dieser Apparat, so wie die darin enthaltene Luft vollkommen trocken, und giesst man durch das trichterförmige Ende von B gleichfalls trockenes Quecksilber, so wird



dieses die Luft in A zusammenpressen. Durch Umkehren und Schütteln des Apparates kann man es leicht dahin bringen, dass das Quecksilber in B nur um weniges höher steht als in A. Oeffnet man nun den Hahn C, nachdem D herausgezogen ist, so wird ein Theil des Quecksilbers herausfliessen, und dadurch kann man vollends bewirken, dass das Niveau in beiden Röhren gleich ist und z. B. in c steht. Füllt man nun die Höhlung von D mit Wasser, und drückt man diesen Cylinder von unten in die eiserne Röhre, so wird das Quecksilber beim Oeffnen des Hahns C herabsinken und das Wasser dafür emporsteigen, wenn man den Apparat ein wenig neigt. Nun bemerkt man ein Steigen des Quecksilbers in der Röhre B und ein Sinken in A. Sobald dieses aufhört, bilden sich auch keine Dämpfe mehr. Zieht man nun D heraus, so kann man durch C wieder so viel Quecksilber fliessen lassen, bis in beiden Röhren dasselbe Niveau, z. B. af, eintritt. Offenbar üben jetzt die Luft in ad und die gebildeten Wasserdämpfe einen Druck aus, welcher dem der äussern Luft gleich ist. Da sich aber die Luft aus dem vorigen Raum dc in den jetzigen da ausgedehnt hat, so ist ihr Druck nun kleiner geworden. Bezeichnet man ihn durch d und den Barometerstand durch b, so ist $d : b = dc : da$, also $d = b \cdot \frac{dc}{da}$. Da aber der Druck der gebildeten Dämpfe, welcher durch eine Quecksilbersäule x vorgestellt werden mag, mit dem Druck der eingeschlossenen Luft, dem Luftdruck b das Gleichgewicht hält, so ist $d + x = b$, folglich $x = b - b \cdot \frac{dc}{da}$ oder $x = b \cdot \frac{ca}{da}$. Bei einer mittleren Temperatur von 13° R. wird man z. B. finden, dass $\frac{ca}{da} = \frac{1}{56}$ ist, und dass also hier wie im leeren Raum der Druck der Wasserdämpfe $\frac{28}{56}$ oder ½ Zoll in Quecksilber beträgt. Giesst man nunmehr Quecksilber in den Schenkel B, so dass der Niveau-Unterschied in beiden Schenkeln z. B. 28 Zoll wird, so wird der Wasserdunst und die Luft in A noch $\frac{56}{111}$ des Raums dc einnehmen. Die Expansivkraft der Luft ist also $\frac{111}{56}$ von dem Drucke der Luft, weil aber diese Expansivkraft dem doppelten Luftdrucke oder $\frac{112}{56}$ das Gleichgewicht hält, so muss das fehlende $\frac{1}{56}$ ebenfalls durch die Elastizität der Wasserdämpfe ersetzt sein.

Um die vorstehenden Versuche mehr in die Augen fallend zu

machen, nimmt man gewöhnlich Aether statt Wasser, weil dieser eine viel stärkere Expansivkraft hat. Den Unterschied zwischen der Expansivkraft verschiedener Dämpfe bemerkt man am besten, wenn man Glasröhren innen mit Wasser, Weingeist oder Aether befeuchtet, und nachdem sie mit Qnecksilber gefüllt sind, wie bei dem Torizellischen Versuche, umkehrt. Das Quecksilber hat alsdann in allen eine verschiedene Höhe.

Da sich nach dem Obigen alle Dämpfe unabhängig von dem Drucke der Luft verbreiten und eine eigene Atmosphäre in der Atmosphäre bilden, so kann man sie von den nicht durchsichtigen, unelastischen Feuchtigkeitstheilchen, welche als Nebel in der Luft schweben, durch den Ausdruck *Gase* unterscheiden, und mit Berzelius statt Wasserdampf oder Wasserdunst, Aetherdunst u. s. w., Wassergas, Aethergas u. s. w. nennen.

Nach *Regnault* gilt das Dalton'sche Gesetz auch dann noch, wenn sich Dämpfe von zweierlei Substanzen mischen, die sich gegenseitig nicht auflösen, wie z. B. Schwefelkohlenstoff- und Wasserdampf. Bei solchen Dämpfen aber, die sich theilweise oder ganz zu einer einzigen Flüssigkeit verbinden, ist die Expansivkraft des entstehenden Dampfes geringer als die Summe der Spannkräfte der Dämpfe, aus denen er zusammengesetzt ist. So löst sich Alkohol in Wasser auf; wird die Mischung aus beiden bis zu einer bestimmten Temperatur erwärmt, so hängt nach den von Geissler in Bonn gemachten Beobachtungen die Expansivkraft des entstehenden Dampfes allein von dem Mischungsverhältniss der beiden Flüssigkeiten ab. Darauf gründet sich *Geisslers Vaporimeter,* welches z. B. dazu dient, den Gehalt einer wässerigen Flüssigkeit, wie Wein, Bier u. s. w. an Alkohol zu finden, indem man die Spannkraft der aus dieser Flüssigkeit bei 100° Wärme in einem abgesperrten Raum aus dem Wasser und Alkohol aufsteigenden Dämpfe misst. Alle Gase und Fermente müssen natürlich vorher aus der Flüssigkeit entfernt sein.

§. 143.

Bei Flüssigkeiten, die nur bei hoher Temperatur in's Sieden gerathen, wie z. B. beim Quecksilber und bei der Schwefelsäure, ist die Verdunstung bei gewöhnlicher Temperatur unmerklich. Erhitzt man solche Flüssigkeiten jedoch, während sie in der Torizellischen Leere sich befinden, durch ein die Röhre umhüllendes heisses Blech, so sinkt das Barometer und steigt wieder, so wie die Temperatur abnimmt. Auf dieselbe Art findet man, dass feste Körper, wie z. B. Kampher und andere, Dämpfe bilden. Auch Zinn, Blei, Kupfer und andere Metalle müssen verdunsten, da man ihre Gegenwart durch die Geruchswerkzeuge wahrnimmt.

Wo chemische Verwandtschaft zwischen den Dämpfen und einem mit ihnen in Berührung stehenden Körper stattfindet, wird ihre Expansivkraft vermindert.

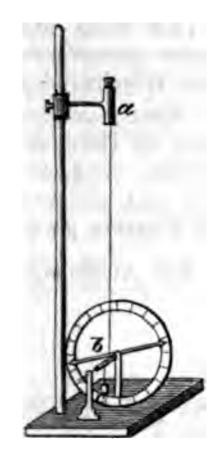
§. 144.

Manche feste Körper, wie Haare, Fischbein, Federkiele, Darmsaiten u. s. w., selbst die trockene Ackererde verdichten einen Theil des in der Luft enthaltenen Wassergases, und heissen daher *hygroscopisch.* Dadurch erhalten sie die Eigenschaft, sich zu verlängern, und nachdem sie vertrocknet sind, sich wieder zu verkürzen. Hierauf gründen sich einige Feuchtigkeitsmesser, *Hygrometer*, die jedoch keineswegs die Wassermenge angeben können, welche in der Luft enthalten ist, indem bei höherer Temperatur sich der Wassergehalt der Luft vermehren kann,

und dennoch weniger davon an dem Hygrometer verdichtet wird, weil das Wassergas ein grösseres Bestreben hat, ausdehnsam zu bleiben.

Das *Saussure*'sche Hygrometer, Fig. 185, besteht aus einem in Kalilauge gekochten Menschenhaare, welches an einem Ende *a* befestigt und am andern um den Umfang einer Rolle *b* geschlungen ist, welche einen Zeiger trägt. Verkürzt sich das Haar, so dreht es den Zeiger nach der einen Richtung, und verlängert es sich, so bewirkt ein Gewichtchen *c*, welches an einem Faden hängt und in entgegengesetzter Richtung um die Rolle gewunden ist, eine Bewegung des Zeigers nach der andern Seite. Die Endpunkte der Scala, die der Zeiger durchläuft, werden bestimmt, indem man das Hygrometer erst in eine sehr feuchte, durch Wasser geschlossene Glasglocke bringt, und so lange darin lässt, bis das Haar sich nicht mehr ausdehnt, und nachdem es wieder trocken ist, in eine andere Glasglocke stellt, welche vollkommen trockene Luft enthält. Der Zwischenraum zwischen beiden Punkten wird in 100 gleiche Theile getheilt, und der Punkt der grössten Trockenheit mit 0 bezeichnet.

Fig. 185.



Diesem Hygrometer ist das von *Deluc* ähnlich. Statt des Haares besteht es aus einem quer über die Fasern geschnittenen Fischbein. Obgleich die Endpunkte der Scala auf dieselbe Art bestimmt werden, wie bei dem vorigen, so stimmen doch beide nicht mit einander überein.

Instrumente, welche den wahren Gehalt der Luft an Wassergas angeben, werden unter dem Abschnitt »Wärme« beschrieben werden.

§. 145.

Die Elastizität oder Ausdehnsamkeit der Luft kann durch die Wärme vermehrt werden. Sie vermag alsdann bei geringerer Dichte dem gleichen Drucke zu widerstehen. Die Kraft, mit welcher sich ihre nun von einander entfernteren Massentheilchen abstossen, ist also noch dieselbe. Ist die Entfernung dieser Massentheilchen so gross, dass die Dichte die Hälfte der vorigen wird, so muss die Abstossung der Theilchen einer stärkern Ursache zugeschrieben werden. Diese nennt man *spezifische* Elastizität. Die spezifische Elastizität ist also z. B. dreizehnmal grösser, wenn ein Gas bei gleichem Drucke der Luft und bei gleicher Temperatur eine dreizehnmal geringere Dichte hat. Diesen Begriff dehnt man auf alle luftförmigen Körper aus und sagt: *Die spezifischen Elastizitäten verhalten sich umgekehrt wie die Dichten*, wenn Druck und Temperatur zweier Luftarten gleich sind. Da nun die Dichte aller Gase bei gleichem Luftdrucke und bei gleicher Temperatur bestimmt wurde, so kann man die spezifische Elastizität derselben aus ihrer angegebenen Dichte leicht finden, wenn man die Dichte der Luft oder 1 durch die des betreffenden Gases dividirt.

§. 146.

Die Geschwindigkeit, mit welcher ein Gas in den luftleeren Raum ausströmt, hängt von seiner Dichte und von dem Druck ab. Nach §. 123

ist der Luftdruck, bei 28″ Barometerstand, dem Druck einer Wassersäule von 10,3 M. gleich. Wäre also die Luft so dicht wie Wasser, so würde sie nach §. 117. mit der Geschwindigkeit $c = \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 10{,}3}\ M$ in den leeeren Raum ausströmen. Da aber unter diesen Umständen ihre Dichte 770mal kleiner ist als die des Wassers, so wäre eine 770mal höhere Luftsäule von gleichförmiger Dichte nöthig, um jenem Druck von 10,3 Meter Wasser das Gleichgewicht zu halten. Die Luft muss also in den leeren Raum mit der Geschwindigkeit eines Körpers ausströmen, der von der Höhe 10,3 . 770 M. herabgefallen ist. Diese Geschwindigkeit ist gleich $\sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 10{,}3 \,.\, 700}\ M.$ oder 382 Meter. Setzt man ganz allgemein die Dichte der Luft oder einer Gasart $= d$, und die Höhe der Wassersäule, die ihrer Expansivkraft das Gleichgewicht hält, $= h$, ferner die Höhe einer Gassäule von gleichförmiger Dichte und gleichem Druck $= x$, so ist nach §. 103 und weil die Dichte des Wassers gleich 1 angenommen wird, $x : h = 1 : d$, folglich $x = \frac{h}{d}$. Die Ausflussgeschwindigkeit des Gases ist also im Allgemeinen

$$c = \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, \frac{h}{d}}.$$

Daraus folgt, dass, wenn der Luftdruck z. B. nur halb so gross ist, die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft in den leeren Raum ausströmt, dennoch dieselbe bleibt, weil ihre Dichte d und die Druckhöhe h zugleich auf die Hälfte reducirt werden. Dasselbe gilt bei jeder Aenderung im Luftdruck. Ferner folgt daraus, dass *für verschiedene Gase, bei gleichem Druck, die Geschwindigkeiten sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln der Dichten dieser Gase verhalten.* Die wirkliche Geschwindigkeit, mit der die Luft in den leeren Raum ausströmt, ist viel geringer, als sie durch obige Formel angegeben wird, und selbst nicht grösser, als wenn sie in einen Raum ausströmt, in dem schon Luft vorhanden ist, deren Expansivkraft ohngefähr ein Drittheil von der gewöhnlichen beträgt.

Wenn man mit dem Obigen die im §. 138 angeführte Erscheinung der Diffusion vergleicht, so sieht man, dass letztere nur eine Folge des allgemeinen Gesetzes ist, vermöge dessen die Gase in den luftleeren Raum mit einer Geschwindigkeit einströmen, welche der Quadratwurzel ihrer Dichte umgekehrt proportional ist, und dass also die Diffusion eine rein mechanische Wirkung des Drucks ist, und mit der Endosmose, die auf Capillarität und chemischer Verwandtschaft beruht, nichts gemein hat als die gegenseitige Durchdringung beider Körper. *Graham's* directe Versuche über die Ausströmungsgeschwindigkeiten ergaben für Luft 1, Sauerstoff 0,950, Kohlensäure 0,812. Kohlenwasserstoff 1,344, und Wasserstoffgas 3,613. Er fand dabei, dass Sauerstoff am schwersten und Wasserstoff am leichtesten durch enge Oeffnungen geht.

Nach *Bunsen* kann man das Verhältniss der Ausflussgeschwindigkeiten verschiedener Gase dadurch nachweisen, dass man einen Glascylinder oben durch ein Platinblech verschliesst und in dieses eine sehr feine Oeffnung macht. Der Cylinder wird, während letztere verschlossen ist, in einer Quecksilberwanne mit Gas gefüllt und bis zu einer gewissen Tiefe hinabgedrückt. Man beobachtet alsdann die Zeit, die verfliesst, bis unter demselben Druck das gleiche Gasvolumen durch die enge Oeffnung ausgeströmt ist.

Die grosse Geschwindigkeit, mit welcher ein Kolben durch den Luftdruck nach dem Ende einer luftleeren Röhre fortbewegt werden muss, hat auf die Idee geleitet, einen solchen Kolben mit den Waggons einer Eisenbahn zu verbinden. *Clegg* und *Samuda* führten die erste grössere Lufteisenbahn in Irland aus. Zwischen

den Schienen liegt eine Röhre, die oben der Länge nach mit beweglichen Klappen geschlossen ist, welche aber durch einen Druck von innen sich öffnen und der Verbindung zwischen dem ersten Wagen und dem Kolben, der in der Röhre durch den Luftdruck bewegt wird, den Durchgang gestatten. Die Luft in der Röhre wird durch eine an ihrem Ende befindliche Dampfmaschine ausgepumpt. Da aber ein genaues Schliessen der Klappen schwer zu erreichen ist, so sind noch andere luftleer gemachte Räume nöthig, die mit der Leitungsröhre in Verbindung gesetzt werden, wenn ein Zug sich nähert, und also gleichsam als Kraftmaschine dienen. Auf Obigem beruht auch der in neuerer Zeit in grossen Städten eingeführte Transport der Pakets nach dem Postlocale; nur werden hier einfache Röhren angewandt.

In Schornsteinen wird die Geschwindigkeit des Luftzugs aus dem Unterschiede der Dichte der einströmenden Luft und der äussern Luft auf folgende Art gefunden: die Dichte der bis zu 100° erhitzten Luft ist = 0,727, wenn die der atmosphärischen Luft bei 0° = 1 ist. In einem 80 Fuss hohen Schornsteine müsste die Luftsäule von 0,727 Dichte die Höhe $\frac{80}{0,727}$ oder 110′ haben, um einer Luftsäule von der Dichte 1 und von 80′ Höhe das Gleichgewicht zu halten. Der Unterschied des Drucks beider Luftsäulen beträgt also 30′. Die Geschwindigkeit der leichteren Luftsäule muss also nach dem Frühern der Geschwindigkeit gleich sein, die ein Körper durch den Fall von 30′ = 9 M. Höhe erlangt, und diese ist $= \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 9} = 12{,}2$ M.

§. 147.

Auch bei dem Ausströmen von Gasen findet eine Zusammenziehung des Strahles statt, und darum schon ist die berechnete Menge immer viel grösser als die des ausgeströmten Gases. Sie kann ebenfalls durch konische Ansatzröhren vergrössert werden, und ist am grössten, wenn das konische Ansatzrohr sich nach aussen erweitert, so dass der äussere Durchmesser das Doppelte des innern, und die Länge 5- bis 10mal so gross als der letztere ist.

Der Zusammenziehungs-Coëfficient ist bei den Gasen nicht so constant als wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten, und ändert sich darum bei verschiedenen Druckhöhen.

Wegen der Unvollkommenheit in der Fortpflanzung des Drucks elastischer Flüssigkeiten, die in Röhrenleitungen fortströmen, nimmt die Gasmenge, welche solche Röhren liefern, mit ihrer Länge ab. An den Enden von 4, 9, 16 ... mal längern Röhren, erhält man 2, 3, 4 ... mal weniger Gas.

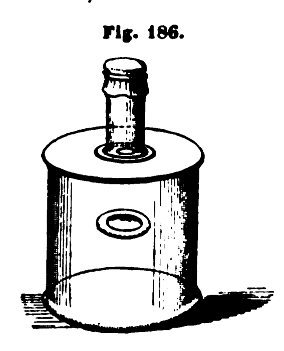
Wenn man die Geschwindigkeit des frei aus einem Glasrohr strömenden Gases = 1 setzt, so ist die des brennenden nach *Barentin* nur 0,75; bei Argand'schen Brennern mit Löchern nur 0,67 und beim Aufsetzen eines Cylinders 0,73.

Wenn die verdichtete Luft in einem mit gewöhnlicher Luft erfüllten Raum ausströmt, wie z. B. bei Gebläsen, so wird der Unterschied ihrer Expansivkräfte gewöhnlich durch die Höhe h einer Wassersäule angegeben. Bei gewöhnlichem Luftdruck b, wo die Dichte der Luft $\frac{1}{770}$ von der des Wassers ist, entspricht die Dichte der comprimirten Luft der Druckhöhe $b + h$, und ist also $= \frac{b + h}{b \,.\, 770}$. Da nun nach §. 146 die Ausflussgeschwindigkeit $c = \sqrt{2g \,.\, \frac{h}{d}}$, so ist also jetzt $c = \sqrt{\frac{2gh \,.\, b \,.\, 770}{b + h}}$, und bei einem andern in Wasserhöhe angegebenen Luftdruck b' ist $c' = \sqrt{\frac{2g \,.\, hb \,.\, 770}{(b' + h)}}$. Diese Geschwindigkeit muss man mit dem Querschnitt der Oeffnung und dem Zusammenziehungs-Coëfficienten μ multipliciren, um die Ausflussmenge zu finden. Nach neuern Versuchen ist μ für den Fall, dass der innere

Druck um 0,003 oder 0,010 oder 0,050 oder um 1 grösser ist als der äussere, gleich 0,71, 0,65, 0,58 und 0,55.

Um der Luft eine Geschwindigkeit von 50 Meter, also grösser wie bei den heftigsten Orkanen, zu ertheilen, ist nach obigen Formeln nur eine Druck-Differenz von 16,8 Centim. Wasserhöhe oder 1,23 Centim. Quecksilberhöhe nöthig.

Fig. 186.



Erfolgt die Ausströmung eines Gases stossweise, so gibt sich die Adhäsion desselben an die Ränder der Oeffnung durch die Bildung von Ringen zu erkennen. Füllt man nach *Reusch* den kleinen beweglichen Glascylinder in Fig. 186, der oben durch eine dünne Kautschuckhaut geschlossen ist und unten auf dem Deckel eines weitern Glasgefässes ruht, mit Tabaksrauch, so treten durch die in einem Kartenblatt angebrachte kreisförmige Oeffnung bei einem leisen Stoss auf den Kautschuck, Tabaksringe in das untere Gefäss. Diese Ringe rotiren auf der obern Seite nach innen. Zugleich steigen von unten Luftringe in das obere Gefäss, die nach entgegengesetzter Seite rotiren. So entstehen auch die Ringe der Raucher und die beim Abfeuern von Kanonen zuweilen von dem Zündloch aufsteigenden Ringe aus Pulverdampf. Auf ähnliche Art kann man auch Ringe einer gefärbten Flüssigkeit in eine andere eintreten lassen.

§. 148.

Ausströmende Gase üben einen rückwirkenden Druck aus, wie im §. 120 von Flüssigkeiten gesagt wurde; daher das Steigen der Raketen, das Stossen der Kanonen u. s. w. Das Zurückfahren der letztern erfolgt erst, nachdem die Kugel den Lauf verlassen hat, weil vorher der Druck des Gases auf die Kugel und auf das gegenüberliegende Ende des Laufs gleich war und die Veränderung des Schwerpunkts vom Ganzen während der Verschiebung der Kugel zu klein ist. Wenn die Röhre frei steht, so bewirkt die ausströmende Luft einen Stoss auf die gegenüberstehenden Körper, welche eine Verdichtung und Wiederausdehnung der Luft bewirken kann.



Fig. 187.

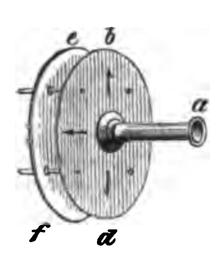
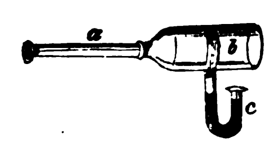


Fig. 188.

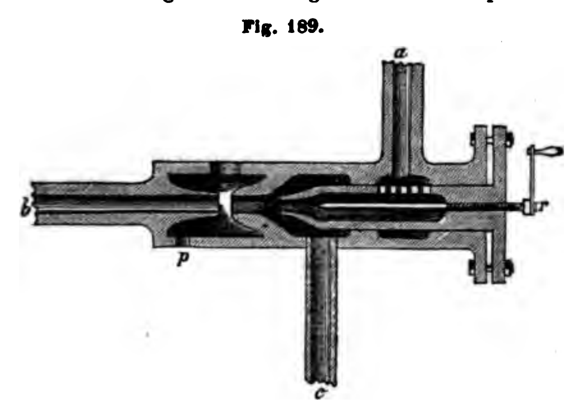


Im Allgemeinen wächst der Stoss mit dem Quadrate der Geschwindigkeit und mit der Masse der in einer Sekunde zum Stoss kommenden Luft. — Wenn aber die Röhre *a*, Fig. 187, nicht freisteht, sondern in einer Wand *bd* befestigt ist, so kann eine Fläche *ef*, welche vielmal grösser ist als ein Querschnitt jener Röhre, durch welche Luft dagegen geblasen wird, in einiger Entfernung sogar scheinbar angezogen werden. Der Grund dieser von *Clement* und *Desormes* zuerst untersuchten sonderbaren Erscheinung liegt darin, dass die Luft, welche mit Heftigkeit aus dem engen Rohre *a* strömt, alle Luft in dem Raum *befd* in Bewegung setzt. Die bewegte Luft übt aber auf die Seitenwände, zwischen denen sie fortströmt, einen geringern Druck aus als die ruhende Luft, desshalb drückt die äussere Luft die Platte *ef* gegen *bd*. Dasselbe bemerkt man auch, wenn man aus einer engern Röhre *a*, Fig. 188, in eine weitere *b* bläst. Der Seitendruck in *b* wird dadurch so ver-

mindert, dass eine Flüssigkeit in dem heberförmigen Röhrchen *c*, welches mit *b* in Verbindung ist, sich nach innen höher stellt als nach aussen, wie beim Wasser in §. 119.

Auf dem verminderten Seitendruck des ausströmenden Dampfes und auf seiner Verdichtung in Berührung mit kalten Körpern beruht der *Injector von Giffard.* Er dient statt der Pumpe zum Nachfüllen der Dampfkessel. Durch das Dampfrohr *a*, Fig. 189, strömt der Dampf durch eine nach vorne zugespitzte Röhre *o*, nach der Röhre *b*, welche in den Wasserraum desselben Kessels führt. Die Röhre *c* communicirt mit einem Wasser-Reservoir. Indem der Dampf aus obigen Ursachen einen geringern Druck auf dieses Rohr ausübt, steigt vermöge des Luftdrucks Wasser in der Röhre *c* empor, füllt den Raum *o* zum Theil an, und wird durch die lebendige Kraft des schnellströmenden Dampfes in die Röhre *b* und von da in den Dampfkessel getrieben. Ein Theil des eingespritzten Wassers sammelt sich auch in den seitlichen Räumen *nn* und fliesst unbenutzt durch *p* ab. Der konisch zugespitzte Cylinder *r* dient zum Reguliren der ausströmenden Dampfmenge.

Fig. 189.



IV. Abschnitt.

Von der Wellenbewegung.

§. 149.

Alle Körper können sowohl im Zustande der Ruhe als in dem der Bewegung, durch Stoss oder Schlag oder durch eine andere Störung des Gleichgewichts ihrer Theile unter sich, in eigenthümliche Bewegungen versetzt werden, welche innerhalb gewisser Grenzen periodisch wiederkehren. Diese Bewegungen heissen *Schwingungen, Oscillationen* und *Vibrationen*, oder auch *Wellen*, *Undulationen*, wenn dabei die Theile eines Körpers in geraden oder krummen Linien regelmässig hin- und hergehen. Sie finden sowohl an der Oberfläche der Körper als auch in ihrem Innern statt, und bewirken darum bald eine sichtbare Veränderung in der Gestalt des Körpers, bald nur eine Bewegung seiner Massentheilchen. Die erste Art von Bewegung findet nie statt, ohne dass sie von der letztern begleitet ist, während die Massentheilchen eines Körpers in schwingender Bewegung sein können, ohne dass seine Gestalt merklichen Veränderungen unterworfen ist.

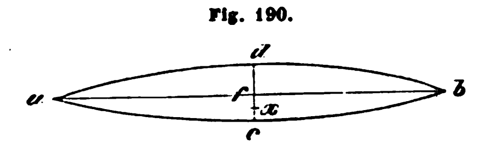
Die Erscheinungen, welche aus den Schwingungen fester Körper an ihrer Oberfläche hervorgehen, sind darum zu unterscheiden von den Schwingungen der Massentheilchen in ihrem Innern. Die letztern folgen denselben Gesetzen, welchen elastische Flüssigkeiten unterworfen sind. Ebenso ist die Wellenbewegung tropfbarer Flüssigkeiten von den Schwingungen zu unterscheiden, welchen ihre Massentheilchen als elastische Körper unterworfen sind. Man kann daher bei der Betrachtung dieser Erscheinungen, welche in der Lehre von dem Schalle, dem Lichte und der Wärme von so grosser Wichtigkeit sind, zuerst von den Schwingungen der festen Körper zu denen der tropfbaren Flüssigkeiten übergehen, und sodann die der elastisch-flüssigen Körper folgen lassen, indem man bei den letztern die Schwingungsgesetze der Massentheilchen fester und tropfbarer Körper berücksichtigt.

A. Wellenbewegung fester Körper.

§. 150.

Unter den möglichen Schwingungen fester Körper ist einer der einfachsten Fälle das Schwingen einer gespannten Saite *afb*, Fig. 190, welche in der Mitte aus der geraden Lage in die gebogene *acb* gebracht wird. Sobald die Kraft, durch welche dieses bewirkt ward, nachlässt, zieht sich die ausgedehnte Saite vermöge ihrer Elastizität wieder zusammen und sucht ihre vorige Lage einzunehmen.

Fig. 190.



Ihre Geschwindigkeit nimmt dabei zu und ist am grössten, wenn sie in der Lage *afb* angekommen ist; darum kann sie in dieser Lage nicht plötzlich zur Ruhe kommen, sondern sie schwingt nun mit abnehmender Geschwindigkeit, bis sie in der Lage *adb* ankommt, wo ihre Geschwindigkeit gleich Null wird. Die Spannkraft setzt sie in dieser Lage abermals nach *afb* in Bewegung, sie schwingt wieder darüber hinaus, bis ihre Geschwindigkeit abermals Null ist u. s. w. Diese Bewegung aus der Lage *acb* bis wieder zurück nach *acb* heisst eine *Oscillation*, *Vibration* oder *Schwingung*, und die Dauer derselben die *Schwingungszeit*. Manche verstehen unter Schwingungszeit auch nur die halbe Dauer einer Schwingung, wodurch schon viele Missverständnisse entstanden sind. Hier wird unter *einer Schwingung* immer ein *Hin-* und *Hergang* verstanden. Ein anderer Fall von einfacher Schwingungsart ist schon im §. 76 erläutert. Wenn, wie dort, die Schwingungen parallel mit der grössten Ausdehnung des Körpers sind, so heissen sie *Längenschwingungen;* sind sie aber wie hier senkrecht zur Länge, so heissen sie *Quer-* oder *Transversalschwingungen.*

Da nach §. 32 die Kraft, mit welcher die Saite aus der Lage *acb* in die Gleichgewichtslage *afb* zurückzukehren sucht, um so grösser ist, je mehr die Ausbiegung oder die Amplitude *fc* beträgt, so wirkt hier die beschleunigende Kraft um so weniger, je mehr sich die Mitte der Saite dem Punkt *f* nähert. Die Schwingungsgesetze für die Saite gehören daher in die Klasse der im §. 76 gefundenen Bewegungsgesetze. Denkt man sich *adbc* sei ein Parallelogramm und die Seiten *ad* und *bd* drücken die Spannung *S* aus, welche den Punkt *d* nach *b* und *a* zieht, und ver-

möge deren die Saite schwingt, so bringen diese Seitenkräfte die Mittelkraft $dc = 2s$ hervor, wo s die Amplitude fd ist. Da $db = da = \frac{l}{2}$, wenn man die Länge der Saite durch l bezeichnet, so ist also $dc : S = 2s : \frac{l}{2}$, folglich $dc = \frac{4 \,.\, Ss}{l}$. Diese Kraft ist an die Stelle von $a \,.\, s$ in §. 76, Gleichung IV, zu setzen. Wenn $a \,.\, s = \frac{4\,S\,s}{l}$, so ist $a = \frac{4\,S}{l}$, also $T = \pi \sqrt{\frac{p\,l}{Sg}}$. Für eine andere Saite, deren T, p, l und S durch $T_,$, $p_,$, $l_,$, $S_,$ vorgestellt wird, hat man ebenso

$$T_, = \pi \sqrt{\frac{p_, l_,}{S_, g}}, \text{ folglich ist}$$

$$T : T_, = \sqrt{\frac{p\,l}{S}} : \sqrt{\frac{p_, l_,}{S_,}}$$

Hier bedeutet p das Gewicht, welches man sich statt der auf die ganze Länge vertheilten Masse der Saite in der Mitte derselben denken muss. Dieses ist nicht das wahre Gewicht der Saite, aber jedenfalls demselben proportional. Sind nun d und $d_,$ die Durchmesser beider Saiten, so ist

$$p : p_, = d^2 l : d_,^2 l_,,$$

$$\text{folglich } T : T_, = \sqrt{\frac{d^2 l^2}{S}} : \sqrt{\frac{d_,^2 l_,^2}{S_,}}$$

$$\text{oder } T : T_, = \frac{d\,l}{\sqrt{S}} : \frac{d_, l_,}{\sqrt{S_,}}.$$

§. 151.

Aus dem vorigen §. folgt, *dass sich die Schwingungszeiten zweier Saiten direct wie ihre Durchmesser oder Dicken und wie ihre Längen, umgekehrt aber wie die Quadratwurzeln ihrer Spannungen verhalten.* Sie verhalten sich ferner direct, wie die Wurzeln ihrer Dichte. Da nun die in gleichen Zeiten gemachten Schwingungszahlen sich umgekehrt wie die Schwingungszeiten verhalten, so wachsen die Schwingungszahlen im umgekehrten Verhältnisse mit Länge und Dicke der Saite, und im directen mit der Quadratwurzel ihrer Spannung.

Wenn man die grösste Geschwindigkeit einer Saite, also diejenige, welche sie in der Lage afb hat, durch c ausdrückt, so wird nach §. 76 I. die Geschwindigkeit derselben in jeder andern Lage auf folgende Art gefunden: Man stellt sich vor, die Zeit T einer ganzen Schwingung, von der Lage acb bis wieder in diese Lage zurück, sei, wie der Umfang eines Kreises, in 360 Theile getheilt, so ist nach x solchen Zeittheilchen die Geschwindigkeit der Saite $= c \,.\, \sin x$, oder, da nach dieser Voraussetzung irgend eine Zeit t, welche vom Anfange der Schwingung gerechnet wird, der Zahl der Grade oder dem x proportional sein soll, während T durch 360° vorgestellt wird, so ist

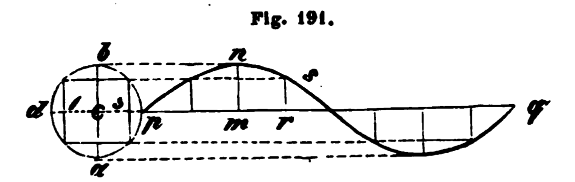
$$\frac{t}{T} = \frac{x}{360}; \text{ folglich } x = \frac{360 \,.\, t}{T}$$

und also die *Geschwindigkeit, welche dieser Zeit entspricht*, oder

$$v = c \sin \frac{360 \,.\, t}{T}.$$

Allen Veränderungen, welchen die Kreisfunction unterworfen ist, und welche bei 1, 2, 3 Kreisumfängen sich wiederholen, ist aber auch die Geschwindigkeit der Saite unterworfen. So wird z. B. $v = o$, wenn $\frac{t}{T} = \frac{1}{2}, 1, 1\frac{1}{2}, 2$ u. s. w. ist. Sie wird beim Herabgehen negativ, wenn ihre aufwärts gehende Bewegung positiv war u. s. w. Drückt man die Dauer einer ganzen Schwingung durch die Linie pq (Fig. 191) aus, und theilt man diese z. B. in 8 gleiche Theile, so kann man eine Curve construiren, welche für jedes Zeittheilchen die relative Geschwindigkeit des

Fig. 191.



Mittelpunktes der Saite angibt. Bezeichnet man nämlich die grösste Geschwindigkeit der Saite durch die Linie bc und beschreibt man damit einen Kreis, den man gleichfalls in 8 gleiche Theile theilt, so ist nach §. 76 die Geschwindigkeit z. B. nach $^1/_8$ der Schwingungszeit gleich dem Sinus von $^1/_8$ der Peripherie; in r oder nach $^3/_8$ der Schwingungszeit ist sie also $= rs$, weil dieses durch die Parallellinien gleich dem Sinus von $^3/_8$ der Peripherie gemacht wurde. Auf diese Art kann man die Geschwindigkeits-Curve einer Saite weiter construiren.

Der Ort x, Fig. 190, in welchem sich nach jeder Zeit t der Punkt c befindet, oder die Ausweichung, Elongation fx wird durch die Gleichung

$$fx = a \cos \frac{360\, t}{T}$$

bestimmt, wo a die Amplitude oder grösste Ausweichung fc oder fd bedeutet. Die relative Ortsveränderung des Mittelpunkts der Saite wird durch die Cosinusse der Zeit, also in der Fig. 191 durch den Punkt d im Anfang, durch 1 nach $^1/_8$, durch c nach $^2/_8$, durch 3 nach $^3/_8$, durch p nach $^4/_8$, durch 3 nach $^5/_8$ der Schwingungszeit angegeben.

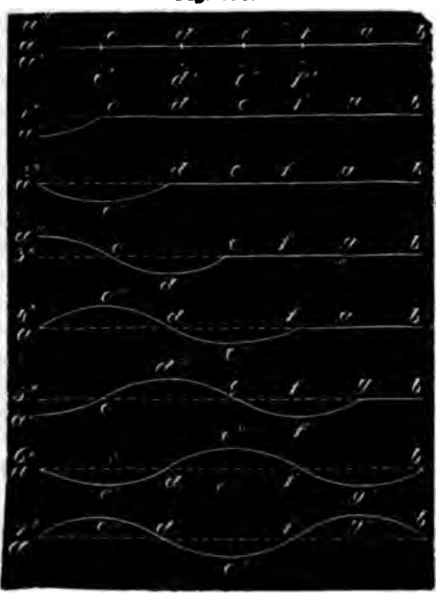
§. 152.

Wenn man ein sehr langes und mürbes Seil, Fig. 192, in a mit der Hand umfasst, und nachdem es am andern Ende befestigt ist, sehr schwach spannt, und ihm nun zwischen a und c einen Schlag mit der Hand ertheilt, so läuft die dadurch entstehende Vertiefung längs des Seiles fort, und wenn sie in b angekommen ist, so bewirkt sie eine Ausbiegung nach der entgegengesetzten Richtung, die nun ebenso nach a zurückläuft. Bewegt man aber in a, Fig. 193, die Hand mit einer Geschwindigkeit auf- und abwärts, welche sich wie die Geschwindigkeit der Mitte einer schwingenden Saite im vorhergehenden §. verändert, so dass sie in a am grössten, in a' und a'' gleich Null ist, so wird der Punkt a schon in a' angekommen sein, wenn die Bewegung irgend eines Punkts c gerade anfängt, weil die Bewegung Zeit zur Mittheilung braucht. Ebenso wird c schon in c' angekommen sein, wenn d seine Bewegung beginnt, und d in d', wenn die Bewegung von e beginnt u. s. w. Wenn also a' wieder in a ankommt

Fig. 192.



Fig. 193.



und dort seine grösste Geschwindigkeit hat, so ist c in c', und hat die Geschwindigkeit Null, und wenn a in a'' anlangt, kommt c' in c mit seiner grössten Geschwindigkeit an u. s. w. Theilt man die Zeit, welche verfliesst, bis f seine Bewegung gerade beginnt, in vier gleiche Zeittheilchen, so hat also das Seil am Ende des ersten Zeittheilchens die Gestalt 1*, Fig. 193, am Ende des zweiten die Gestalt 2*, am Ende des dritten 3*, am Ende des vierten 4*, am Ende des fünften 5*, am Ende des sechsten 6* u. s. w. Eine Figur, wie in 6* das Stück $ac'\,de''\,f$, heisst eine Welle, $ac'\,d$ ihr *Thal*, $de''\,f$ ihr *Berg*, cc' die Tiefe des Thals, ee'' die Höhe des Bergs; af die *Breite*, oft auch die *Länge*, $e''f$ der Vordertheil und de'' der Hintertheil der Welle. Aus dieser Erklärung sieht man, *dass die Länge einer Welle der Raum ist, um welchen die schwingende Bewegung eines Systems von Punkten fortgepflanzt wird, in der Zeit, in welcher ein solcher Punkt eine ganze Schwingung vollendet.*

Die Gestalt 6*, Fig. 193, welche das Seil am Ende des sechsten Zeittheilchens hatte, wird sich am Ende des achten Zeittheilchens in diejenige verwandelt haben, welche in 7* abgebildet ist; weil z. B. das Theilchen g' zwei solcher Zeittheilchen braucht, um in 6* aus der Lage g' in die Lage g'' Fig. 7* überzugehen u. s. w.

Die Theorie und die Versuche von *W. Weber* zeigen, *dass eine Welle an dem Seil in derselben Zeit hin- und zurückläuft, in welcher das ganze Seil eine Querschwingung macht.*

Die Geschwindigkeit c, mit welcher auf einem Seile oder einer Saite eine solche Ausbiegung fortläuft, ist nach *Eulers* Theorie und Webers Versuchen ausgedrückt durch $c = \sqrt{\frac{9{,}81 \,.\, eP}{E}}$, wo P die Spannung des Seiles, und E das Gewicht eines Stückes desselben von der Länge e ist. Fasst man das lange Seil, Fig. 192, welches an dem einen Ende befestigt ist, am andern mit der Hand an, so kann man es so langsam drehen, dass während einer Umdrehung die Bewegung erst am andern Ende ankommt. Alsdann dreht sich das ganze Seil als eine einfach gekrümmte Linie. Dreht man doppelt so schnell, so bildet sich in der Mitte ein Punkt, von dem die beiden Hälften nach entgegengesetzter Richtung gekrümmt sind. Bei dreifacher Geschwindigkeit der Drehung bilden sich zwei solche Punkte u. s. w. Diese Versuche sind sehr lehrreich, um die im nächsten §. beschriebenen Schwingungsknoten zu zeigen.

Wenn man, wie *Melde*, eine Stimmgabel senkrecht auf dem Tisch befestigt, an dem obern Theil des einen Zinken ein Fadenende ankittet und das andere Ende horizontal an einem Gestell festmacht, so schwingt der Faden, sobald die Stimmgabel durch Anstreichen tönt mit 1, 2, 3, 4 . . . . . Bäuchen, je nach der Spannung des Fadens und der Stärke des Anstreichens. Man sieht dann 0, 1, 2, 3, 4 . . . . Schwingungsknoten, um die sich die schwingenden Theile hin und her drehen.

§. 153.

Unter der im vorigen §. gemachten Voraussetzung nimmt jeder Punkt des schwingenden Seiles gleichen Antheil an der allgemeinen Bewegung, indem er bald ruhend ist, bald eine beschleunigte, bald eine verzögerte Geschwindigkeit hat, und die Bewegung pflanzt sich in einer halben Schwingungszeit um die Länge einer halben Welle fort. Wenn daher in Fig. 194 die über ein Brett gespannte Saite bh in vier gleiche Theile getheilt, bei d durch einen Steg unterstützt und in der Mitte von dh angestrichen wird, so wird sie, nachdem das Stück dh drei halbe Schwingungen gemacht hat, die Gestalt des starken Wellenstrichs haben,

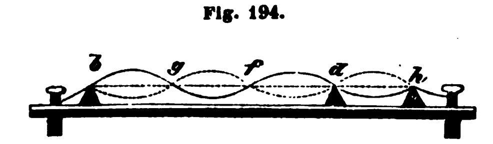


Fig. 194.

und nach vier halben Schwingungen von $d\,h$ die Gestalt des punktirten Wellenstrichs, indem durch die Reflexion die Ausbiegung in die entgegengesetzte übergeht. Diess ist auch der Grund, warum die Theilungspunkte f und g nur einen geringen Antheil an der Bewegung nehmen, und daher als ruhend erscheinen. Solche Schwingungen nennt man *stehende Wellen*, und die ruhenden Punkte *Schwingungsknoten*. Man kann sie dadurch bemerklich machen, dass man über der Saite kleine Papierschnitzel (Reiterchen), die in der Mitte gebogen sind, aufhängt. Nach dem Anstreichen fallen alle mit Ausnahme derjenigen ab, welche an den Schwingungsknoten sich befinden. Wird die Saite $b\,h$, Fig. 195, dagegen z. B. in 5 gleiche Theile getheilt, und im zweiten Theilungspunkte d unterstützt, so bilden sich auf $b\,d$ zwei Schwingungsknoten, wenn man $d\,h$ in der Mitte streicht; welches man auf ähnliche Art erklären kann, wie oben, wenn man in den verschiedenen Schwingungsperioden die Gestalt der Saite bezeichnet. Wenn die beiden Saitenstücke $b\,d$ und $d\,h$ in keinem solchen Zahlenverhältniss stehen, dass eine gewisse Länge in beiden aufgeht, so können sich keine Schwingungsknoten bilden. Nach denselben Gesetzen schwingen auch schmale, der Länge nach gespannte Membranen. Sehr lange gespannte Saiten gerathen beim Schwingen von selbst in solche Unterabtheilungen, wie sich aus den Tönen ergibt, die man bei ihren Schwingungen wahrnimmt, und wovon später Mehreres vorkommt. Beim Anstreichen einer Saite mittelst des Violinbogens entstehen, wenn derselbe genau in der Mitte aufgesetzt wird, keine Schwingungen, wohl aber, wenn diess ausser der Mitte geschieht. Dabei läuft die entstehende Ausbiegung wie eine Welle zwischen den Enden hin und her.

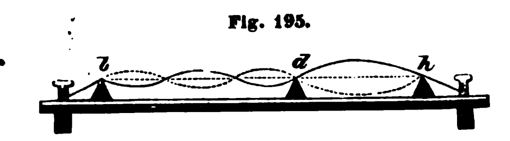


Fig. 195.

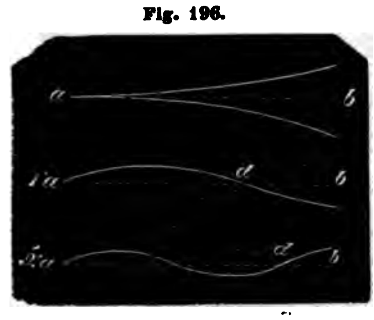


Fig. 196.

Wenn ein elastischer Stab $a\,b$, Figur 196, an dem einen Ende befestigt wird, so kann man ihn durch einen Stoss in einfache Schwingungen versetzen. Die Anzahl seiner Schwingungen wächst im umgekehrten Verhältniss mit dem Quadrat der Länge des schwingenden Theils. Sie ist unabhängig von der Breite und steht im geraden Verhältniss mit der Dicke in der Richtung genommen, in welcher er schwingt. Seine Schwingungen erfolgen also nicht nach denselben Gesetzen, wie bei den Saiten. Durch Berührung an solchen Stellen, bei welchen, wie in Fig. 196 1* und 2*, $b\,d$ ohngefähr $1/3$ oder $1/5$ der ganzen Länge beträgt, kann der gestrichene Stab auch mit einem oder zwei Schwingungsknoten schwingen.

§. 154.

urch eine Stricknadel, welche an dem einen Ende ein polirtes en oder eine Thermometerkugel trägt, und an dem andern eint ist, lässt sich zeigen, dass die Schwingungen eines runden nicht immer in einer Ebene liegen und an dem Ende des Stabes rische Figuren erzeugen. Hierauf beruht *Wheatstone's Kalei-*

Wenn ein elastischer Stab, wie Fig. 196, dessen Ende mit einem den Knöpfchen versehen ist, regelmässig in *einer* Ebene schwingt, sich die Stelle, an der sich das Knöpfchen in jedem Zeittheil anzen Schwingung befindet, nach der im §. 76, Fig. 33, angegeConstruction leicht finden.

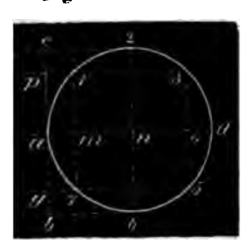
Fig. 197.



Wird aber das Knöpfchen a, Fig. 197, im nämlichen Augenblick durch zwei Ursachen in schwingende Bewegung nach ab und ac gesetzt, so dass es in derselben Zeit t von a nach b und zurück schwingt, in der es von a nach c und zurück nach a vibriren soll, so ist es vermöge der ersten Ursache nach $\frac{1}{8}$ von t in I nach $\frac{2}{8}t$ in II.. und vermöge der zweiten Ursache nach $\frac{1}{8}t$ in $\frac{2}{8}t$ in 2 .... Es durchläuft also die Punkte x, s u. s. w., oder gonallinie des Rechtecks ad und geht ebenso zurück.

asselbe ist auch der Fall, wenn die Richtungen ab und ac einen Winkel bilden. Wird aber das Knöpfchen a, Fig. 198, durch die eine Ursache in der Richtung bc durch die andere in der Richtung ad in *gleichgrosse* Schwingungen versetzt, und hat es vermöge der ersten Ursache schon den Weg ba, der $\frac{1}{4}t$ entspricht, zurückgelegt, ehe die zweite Ursache zu wirken anfängt, so hat es in a schon seine grösste Geschwindigkeit nach bc erlangt, während es vermöge der zweiten sich erst nach d zu bewegen anfängt. Theilt man die Zeit t einer

Fig. 198.

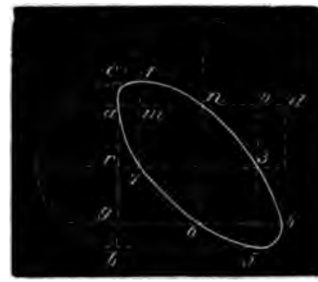


Schwingung in acht gleiche Theile, und construirt man wie oben agation des schwingenden Knöpfchens, so ist vermöge der ersten das Knöpfchen a nach $\frac{t}{8}$ in p, nach $\frac{2t}{8}$ in c, nach $\frac{3t}{8}$ wieder ach $\frac{5t}{8}$ in g u. s. w. Vermöge der zweiten Ursache ist es aber in m, nach $\frac{2t}{8}$ in n, nach $\frac{3t}{8}$ in o ...., nach $\frac{7t}{8}$ in m. Vermöge

beider Ursachen ist es also nach $\frac{t}{8}$ in 1, nach $\frac{2t}{8}$ in 2, nach $\frac{3t}{8}$ i nach $\frac{4t}{8}$ in *d*, nach $\frac{5t}{8}$ in 5 u. s. w. Es durchläuft also die Peripl eines Kreises. *Wenn also zwei zu einander senkrechte und sonst gl Schwingungen, von denen die eine um eine Viertelschwingungszeit f auf einen Körper zu wirken anfängt, diesen bewegen, so schwingt er l förmig.* In diesem Fall war die Bewegung durch die Punkte 1, 2, eine *rechts gedrehte*. Hätte *a* schon $\frac{3}{4}$ seiner Schwingung nach Richtung *bcb* vollendet, ehe die Schwingung nach *ada* begann, so w die Bewegung von *a* nach 7, 6, 5 .... gehen, also *links gedreht* Ist die Schwingungsweite *ad* nicht gleich *bc*, so wird aus dem l eine Ellipse.

Bei zwei gleichen Schwingungsweiten wie *bc* und *ad*, Fig. wird die Bewegung des Knöpfchens *a* ebenfalls *eine elliptische, wenn Anfänge beider Schwingungszeiten um eine viertel, eine halbe oder ganze Schwingungsdauer verschieden* wie Fig. 199 zeigt, in welcher d Unterschied $\frac{t}{8}$ beträgt. Nach $\frac{1}{8}$ *a* vermöge der einen Ursache in *c*, möge der andern in *m*, also ver beider in 1. Nach $\frac{2t}{8}$ ist es ver der ersten wieder in *a*, vermöge zweiten in *n*, also durch beide u. s. w.

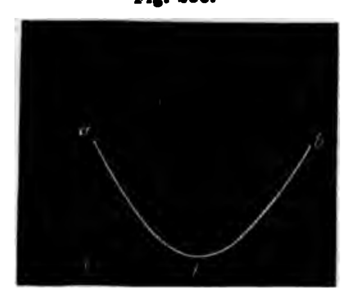
Fig. 199.



Ein allgemeinerer Fall ist der, wenn *die Richtung und auch Schwingungsdauer verschieden sind.*

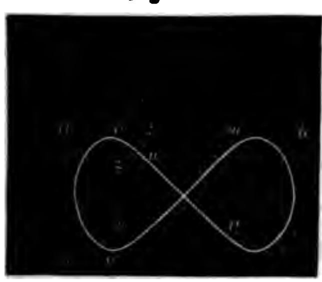
Es bewirke z. B. eine Ursache, dass der Punkt *a*, Fig. 200 derselben Zeit eine ganze Schwingung von *a* nach *c* und zurück na machen muss, in der ihn eine andere sache veranlasst, nur eine halbe Sch gung von *a* nach *b* zu machen; so schreibt er, wie die Construction z den Weg *afb*. Während nun der P *a* in der Richtung *aca* die zweite Sch gung vollenden würde, geht er von *b* der auf dem Weg *bfa* nach *a* zurüc

Fig. 200.



Wird aber der Punkt *a*, Fig. der nach der Richtung *aca* wie vo zwei Schwingungen machen soll, wäh er nach *aba* nur eine macht, durch zweite Ursache früher in Bewegung setzt, und ist er schon in *o*, während die erste zu wirken anfängt hat der Weg, den er jedesmal durchläuft, die Form eines Ach Denn nennt man *t* die Dauer der Schwingung von *a* nach *b* und zu

Fig. 201.



so braucht er von a nach o die Zeit $\frac{2t}{16}$. Diese ist verflossen, ehe er nach og zu schwingen anfängt. Im nächsten $\frac{t}{16}$ treibt ihn die zweite Ursache von o nach z, die erste von o nach x; er gelangt also nach u. Nach $\frac{3}{16}$ der Schwingungszeit von aba wäre er in m. Diese Schwingungszeit ist aber $\frac{3}{8}$ von der ganzen Schwingungszeit auf og, folglich wäre er vermöge dieser Ursache in n. Er ist folglich in v, und gelangt also von o durch u nach v u. s. w.

Sind die Schwingungen nach der einen Richtung nahezu aber nicht genau doppelt so schnell, als die nach der andern, so geht die Bewegung Fig. 200 allmählig über in Fig. 201 und umgekehrt. Denn ist die Schwingungszahl nach der einen Richtung 96, nach der andern 49 in 1 Minute, so entsprechen 12 Schwingungen der einen, $6\frac{1}{8}$ Schwingungen der andern.

Man kann alle diese und andere noch zusammengesetztere Schwingungen durch Versuche nachweisen. Wenn man ein Senkloth aufhängt, und in einer Ebene schwingen lässt, ihm dann da, wo es die grösste Geschwindigkeit hat, einen zu seiner Bewegung senkrechten Schlag ertheilt, so schwingt es wie in Fig. 197. Ertheilt man ihm diesen aber, wenn es am Ende seiner Bahn angekommen ist, so entsteht die kreisförmige Bewegung wie Fig. 198 oder die elliptische. An jeder andern Stelle seiner Bahn als den obigen wird es durch einen senkrechten Schlag gleichfalls in elliptische Bewegung versetzt, Fig. 199.

Durch den Apparat, Fig. 202, kann man diese und alle übrigen Schwingungen mit Hilfe der relativen Bewegung darstellen. An zwei gleichlangen Fäden hängt eine Messingstange aa. Senkrecht zu einem verschiebbaren runden Maassstab m ist eine Leiste cc befestigt, an welcher das Bleiloth p wie in Fig. 202 aufgehängt ist. Mit Hilfe zweier Spindeln kann dasselbe länger oder kürzer gemacht werden. Versetzt man aa und p gleichzeitig in zu einander senkrechte Schwingungen, während die Pendellängen an beiden gleich sind, so glaubt man, die Schwingungen von p seien schief zu aa wie in Figur 197. Fängt aber p erst an zu schwingen, wenn aa schon an der tiefsten Stelle angekommen ist, so scheint die Bewegung von p gegen aa eine elliptische oder kreisförmige zu sein. Hat aber p nur den vierten Theil der Pendellänge von aa, schwingt es also doppelt so schnell als aa und fangen beide zugleich zu schwingen an, so erscheint die Bewegung von p gegen aa wie in Fig. 200, verwandelt sich aber bald in Fig. 201, wenn p nicht genau doppelt so viel Schwingungen macht, als aa. Das Umgekehrte geschieht, wenn p zu schwingen anfängt in dem Augenblick, wo aa an der tiefsten Stelle angekommen ist. Durch Drehen des Maassstabs, Verkürzung oder Verlängerung des Pendels p kann man auf diese einfache Art alle schon längst von *Wheatstone* und neulich von *Lissajous* nachgewiesenen Schwingungscurven erklären. Letzterer liess einen Lichtstrahl ob, Fig. 203, auf das an einer Stimmgabel angebrachte Spiegelchen b fallen. Derselbe wurde nach ba auf ein zweites Spiegelchen a reflectirt, welches auf einer Stimmgabel,

Fig. 202.

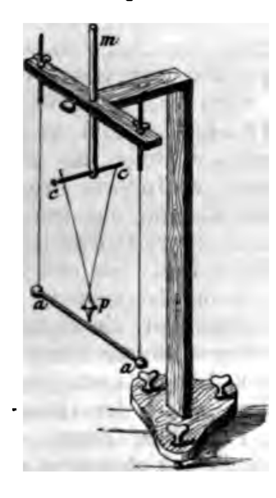
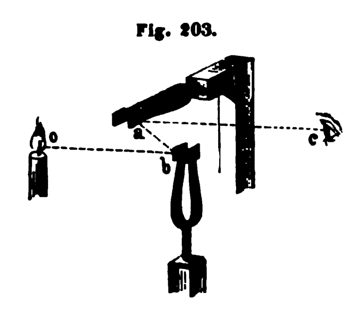


Fig. 203.



die z. B. doppelt so viel Schwingungen m
festigt ist. Das von diesem reflectirte Li
nach dem Auge c oder in ein Fernrohr, u
in diesem Falle den Uebergang von Fig.
Fig. 201 dar. Stellt man bei c ein Object
passender Entfernung auf, so kann man
keln diese Curven auf einen in der conjugir
fernung aufgestellten Schirm projiciren. A
festigte zu gleichem Zweck an das obere En
Stahllamelle, die unten eingeschraubt war
in einer Ebene schwingen kann, eine zw
melle, die in der dazu senkrechten od
andern Ebene schwingt. Das obere Ende
tern beschreibt dann verschiedene Curven
der Schwingungsdauer der beiden Lamell

§. 155.

Bei den Schwingungen elastischer Flächen von Glas oder M
welche, wie die vorhin beschriebenen, durch Streichen mit einem
bogen hervorgebracht werden, bilden sich aus den bei den Sai
merkbaren Schwingungsknoten ganze Reihen solcher ruhenden
die man *Knotenlinien* nennt. Euler hat theoretisch bewiesen, d
elastischer Streifen, dessen beide Enden frei sind, mit 2, 3, 4 ..
lelen Knotenlinien schwingen kann, und dass die Zahlen der st
Schwingungen sich nahezu wie 9, 25, 49, 81 ... verhalten. Die
und Lage der Knotenlinien ist für drei solche Fälle in Fig. 204 1
abgebildet, und die darunter befindliche
file zeigen die Krümmung dieser Fläche
rend der Schwingungen. Bezeichnet m
Länge durch l, die Zahl der Knoten d
so wird nach *Euler's* Untersuchungen, mi
die Versuche übereinstimmen, der Absta
mittleren Knotenlinien $= \frac{2l}{2n-1}$, wenn e
als 4 sind. *Chladni* hat gefunden, da
diese Knotenlinien dadurch dem Auge d
sichtbar machen kann, dass man Glas
Metallplatten mit Sand bestreut, und
einem Violinbogen anstreicht. Indem
Unterstützungspunkte und die Stelle, an
er die Schwingungen erzeugte, veränderte, l
er eine grosse Anzahl von Klangfiguren a
schiedenartigen Flächen hervor. Dur
Unterstützung des b in der Fig. 204 u
Anstreichen des Glasstreifens
Mitte bei a erhält man die d
Knotenlinien; ebenso könnte ma
Glasstreifen der Länge nach
Anstreichen der Mitte der l
Seite, wie in Fig. 205, durc
Knotenlinie abtheilen. Unterstü
in b und erregt man die Schwin
in a, so erhält man Länge

Fig. 204.

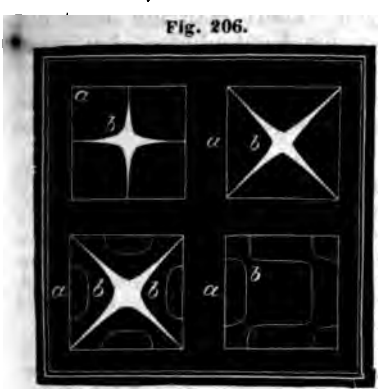


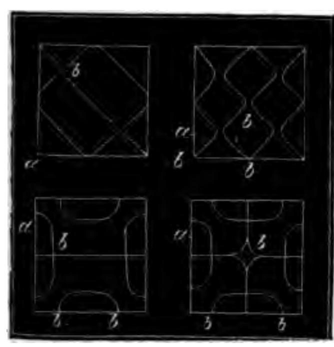
Fig. 205.

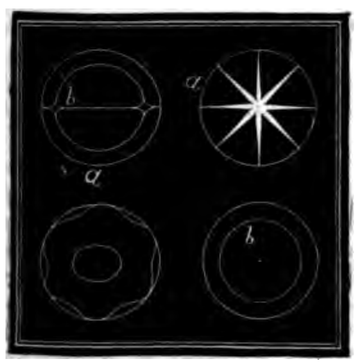


Quertheilung. Bezeichnet in den quadratischen und runden Scheiben, Fig. 206, jedesmal *a* den Punkt, an welchem der Violinbogen angesetzt wird, und *b* den Punkt oder die Punkte, in welchen die Scheibe unterstützt ist, so entsteht die dazu gehörige Figur. Durch Combination hat *Wheatstone* die meisten Klangfiguren theoretisch abgeleitet.

Fig. 206.







Nach *Strehlke's* Versuchen sind in den meisten Fällen, die geraden Linien nur Zweige hyperbolischer Curven. Eine deutliche Hyperbel entsteht, wenn man eine quadratische Scheibe mit den Fingern an drei Ecken unterstützt und in der Mitte einer Seite mit dem Violinbogen streicht. Es ist gewiss, dass das Durchschneiden der Curven nur scheinbar ist, weil da, wo die Zwischenräume der Knotenlinien sehr klein werden, die Schwingungen nicht mehr kräftig genug sind, um den Sand zu zerstreuen, und dass alle krummen Linien, welche nicht in sich selbst zurückkehren, nur am Rande sich endigen und nie in der Scheibe selbst. Der Abstand paralleler Knotenlinien richtet sich nach der oben angeführten Euler'schen Formel.

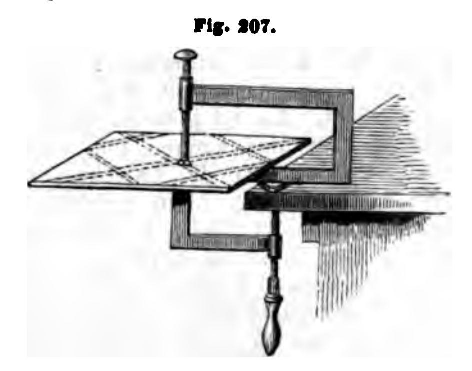
Durch allmäliges Fortschreiten mit dem Violinbogen am Rande einer kreisförmigen Scheibe lässt sich auch ein Fortschreiten der Knotenlinie bewirken, ebenso dadurch, dass man mit dem Finger, welcher an einem Ruhepunkt die Scheibe unterstützt, langsam weiter rückt.

Da Holz, Krystalle, die nicht zum regulären System gehören, und andere Körper nicht nach jeder Richtung gleiche Elastizität besitzen, so können auch kreisrunde Scheiben, welche man daraus verfertigt, und z. B. in der Mitte unterstützt, nicht immer dieselbe Klangfigur geben, wenn man sie an verschiedenen Stellen streicht. *Wheastone* hat mit Hülfe solcher Versuche die Elastizitätsgrade von verschiedenen Körpern nach den Hauptrichtungen ihres Gefüges bestimmt, und *Savart* hat gefunden, dass eine Bergkrystallplatte, die senkrecht zur Achse geschliffen ist, sich wie eine Glasplatte verhält, während sie parallel mit der Achse geschnitten, in zwei Richtungen verschiedene Elastizitäten zeigt. Damit stehen auch die eigenthümlichen Knoten an der Oberfläche starrer Streifen in Verbindung, die *Savart* erhielt, indem er einen Glasstreifen von 2 bis 3 Mil-

limeter Dicke leicht mit den Fingern in der Mitte fasste, und nachdem er ihn mit Sand bestreut hatte, an seinen Enden, in der Richtung seiner Länge, mit einem Schlüssel schlug. Die erhaltenen Knoten bleiben bei demselben Streifen immer die nämlichen; man mag ihn an dem einen oder an dem andern Ende anschlagen; kehrt man ihn aber um, so wechseln die Knotenlinien ab, so dass die Knotenlinien der einen Seite in die Mitte des schwingenden Theils der andern Seite fallen.

Um die *Chladni*'schen Klangfiguren mit grösserer Sicherheit hervorzubringen, befestigt man, wie in Fig. 207, die Scheibe an eine Zwinge, welche an einem Tisch festgeschraubt ist.

Fig. 207.



Statt des Violinbogens kann man auch einen $1^1/_2$ bis 2 Meter langen Holzstock anwenden, den man in der Mitte anfasst, fest auf die Metallplatte aufsetzt und dann mittelst eines Lappens, der mit Colophonium bedeckt ist, stark reibt und in Längenschwingungen versetzt.

Die manchfaltigsten Figuren, welche von den bisher bekannten ganz verschieden sind, entdeckte *Marx*, indem er dünne Membranen von Gummi elasticum durch ein dem Trompetenmundstück ähnliches Rohr von unten anblies, und, nachdem sie dadurch in Schwingungen gerathen waren, mit Sand bestreute. *Savart* beobachtete die auf einem über einen Ring gespannten Goldschlägerhäutchen entstehenden Figuren, indem er eine Stimmgabel oder eine Orgelpfeife über die gespannte Membrane hielt.

Aus der grossen Manchfaltigkeit der Klangfiguren bei gleicher Spannung und aus ihren Unterabtheilungen folgt, dass gespannte Häutchen unendlicher Arten von Schwingungen fähig sind.

§. 156.

Da die Luft bei den Schwingungen elastischer Flächen zurückgestossen wird, und die dadurch entstehenden leeren Räume nicht mit gleicher Schnelligkeit wieder ausfüllen kann, so muss in der Nähe derjenigen Stellen, welche die schnellste Bewegung haben, ein luftverdünnter Raum entstehen. Daher entstehen Luftströmungen sowohl von den ruhenden Stellen, als von der umgebenden Luft nach den bewegten Stellen. Leichte Körper werden dadurch von den Knotenlinien fortgerissen und an den schwingenden Stellen angehäuft. Hiedurch erklären sich *Faraday's Ergänzungsfiguren*, die man erhält, wenn man Bärlappsamen unter den Sand mischt, welchen man zur Anstellung der Chladnischen Versuche gebraucht. Ferner erklärt sich hieraus das scheinbare Anziehen leichter Körper durch eine schwingende Stimmgabel, welche man ihnen nähert. Im luftleeren Raum hören diese Erscheinungen auf.

Sowohl bei den Saiten als bei den Scheiben, welche durch Schwingungsknoten abgetheilt sind, erzeugt jeder Theil während des Schwingens vibrirende Unterabtheilungen in einer daran gränzenden Flüssigkeit, und diese sind um so kleiner, je mehr Schwingungen in derselben Zeit von ihnen gemacht werden. Man kann diese Unterabtheilungen, welche meist rechtwinklicht angeordnet sind und sich besonders lebhaft an den am stärksten schwingenden Theilen einer Scheibe entwickeln, sichtbar machen, wenn man diese mit einer dünnen Schichte verdünnter Dinte oder mit

Eiweiss überzieht, oder Wasser mit feinem Sande darauf vermischt. Auch in der umgebenden Luft scheinen sich dabei regelmässig schwingende Abtheilungen zu bilden, wie man an der Vertheilung des darüber schwebenden Staubes von Bärlappsamen sehen kann.

§. 157.

In gekrümmten Flächen entstehen ebenfalls Knotenlinien, durch welche die ganze Oberfläche in schwingende Abtheilungen gebracht wird. Man bemerkt diese Abtheilungen sehr leicht, wenn man, wie in Fig. 208, eine Glasglocke umgekehrt auf ein Brett befestigt und durch einen Violinbogen anstreicht. Die an vier Fäden herabhängenden Glasperlen bleiben in Ruhe, wenn sie gleichen Abstand haben und man den Ton in der Mitte von zwei Perlen erregt; in jedem andern Punkt werden sie weggestossen. Indem der Umfang des Glases durch das Anstreichen aus der kreisförmigen in die elliptische Gestalt *ab*, Fig. 209, aus dieser wieder in die kreisförmige und dann in die elliptische *ce* übergeht, nehmen die Durchschnittspunkte dieser Figuren nur sehr wenig Antheil an der Bewegung. Bei schwingenden Glocken entstehen ähnliche Knotenlinien, und es liegen die Knotenlinien der innern Fläche zwischen den Knotenlinien der äussern. Bei langen und weiten Glasröhren bilden sich, nach *Savart*, schraubenförmige Knotenlinien, welche man durch eingestreuten Sand sichtbar machen kann, wenn man während der Schwingungen die Röhre dreht und die Stellen bezeichnet, wo der Sand liegen geblieben ist. Auch hier gehen die äussern Knotenlinien zwischen den innern fort.

Fig. 208.

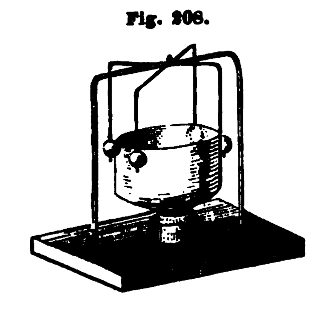


Fig. 209.

B. Wellenbewegung tropfbar-flüssiger Körper.

§. 158.

Wenn das Wasser oder eine andere Flüssigkeit ruhig ist und das Licht wie ein Spiegel zurückwirft, so wird auch seine Oberfläche durch einen Wind, der weniger als 0,2 M. Geschwindigkeit hat, nicht getrübt. Ein sanfter Wind von $^1/_4$ bis $^7/_8$ M. Geschwindigkeit erzeugt aber eine *Kräuselung* der Oberfläche, die inzwischen nur da erscheint, wo die Luft bewegt ist und fast zugleich mit ihrer Ursache wieder aufhört. Man sieht diese Kräuselung darum oft nur strichweise oder auch an der Oberfläche viel grösserer Wellen, die auf andere Art entstanden sind. Sie ist wahrscheinlich nur eine Folge der Störung in derjenigen Spannung der obersten Wassertheilchen, welche nach §. 109 aus der Molekular-Anziehung erklärt werden muss, und die wie eine gespannte dünne Haut über das Wasser ausgebreitet ist. Man kann sie auch auf eine sehr niedliche Art sehen, wenn man eine Spitze nur wenig in's Wasser

eintaucht und längs der Oberfläche fortbewegt, oder einen adhärirenden dünnen Stab etwas eintaucht und dann langsam in senkrechter Richtung entfernt. Diese Kräuselung verschwindet, wenn das Wasser mit einer noch so dünnen Oelschichte bedeckt ist. Indem sie auch bei stärkerem Wind sich zeigt, bietet sie der Luft einen Anhaltspunkt, welcher zur Vergrösserung der eigentlichen Wellen beiträgt. Hierauf beruht der beruhigende Einfluss des Oeles, der aber bei weitem nicht so gross ist, als man glaubte.

Wenn die Geschwindigkeit des Windes bis zu 1 Meter steigt, oder man einen Stein in das Wasser wirft, so erheben sich kleine Wasserberge über die Wasserfläche. Es bilden sich im letzten Fall kreisförmige Wellen mit gemeinschaftlichem Mittelpunkte, wovon die innerste die höchste ist. Aus diesen Wellen entstehen wieder neue, noch grössere Wellen in einer nach aussen fortschreitenden Bewegung. Die in der Mitte befindliche Flüssigkeit schwingt während der kreisförmigen Fortpflanzung derselben ebenfalls noch mit, und verursacht dadurch fortwährend das Entstehen neuer Wellen, bis endlich auch die letzten und kleinsten von der ruhenden Mitte aus weiter schreiten, ohne dass ihnen andere nachfolgen. Die Ursache dieser schwingenden Bewegung ist offenbar die Schwere. Wellen, welche auf diese Art entstanden sind, nennt man *oscillirende Wellen.* Die Gestalt derselben kann man durch das Eintauchen einer mit Staub bestreuten Schiefertafel in die bewegte Flüssigkeit sichtbar machen. Man bemerkt alsdann, dass wenn die Horizontallinie ab, Fig. 210, die Richtung bezeichnet, in welcher die Welle fortschreitet, das Vordertheil db des *Wellenbergs* cb stärker gekrümmt ist als der Hintertheil dc, und dass die concave Krümmung des *Wellenthals* aec nicht identisch ist mit der convexen des Wellenbergs. ab heisst die *Breite* der ganzen Welle, df die Höhe des Wellenbergs und eg die Tiefe des Thals; $df + eg$ *die Höhe der ganzen Welle.* Die auf obige Art entstandenen kreisförmigen Wellen erweitern sich beständig und bleiben, wenn ihnen kein Hinderniss in den Weg kommt, immer kreisförmig. Sogar im fliessenden Wasser bewegt sich der Mittelpunkt des Kreises mit der dem Wasser eigenen Geschwindigkeit fort, und ein Stückchen Holz, welches man in den Strom wirft, bildet stets den Mittelpunkt der auch später noch sich bildenden Wellen. Da sich die oscillirenden Wasserwellen zur Verdeutlichung mancher Begriffe vorzüglich eignen, so werden sie hier näher betrachtet.

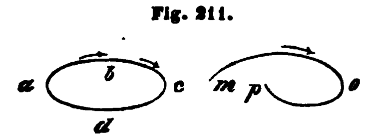
Fig. 210.

§. 159.

Der Stoss, welcher die oscillirenden Wellen veranlasst, erzeugt auch bis zu einer grossen Tiefe Bewegungen in den Flüssigkeiten, wie man aus der Trübung des Wassers ersieht, wenn der Boden schlammig ist und durch die Wellenbewegung aufgeregt wird. Da, wo die Wellen schon regelmässig fortschreiten, beschreibt jedes Flüssigkeitstheilchen eine zur Oberfläche senkrechte und in der Richtung der Bewegung lie-

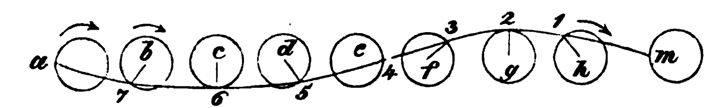
gende Bahn. Auf dieser kehrt es, wie in Fig. 211, entweder wieder an seine vorige Stelle auf dem elliptischen Wege *abcd* zurück, oder es durchläuft nur den Theil *mop* einer solchen Bahn. Das Letztere ist dann der Fall, wenn die auf einander folgenden Wellenberge und Wellenthäler nicht gleich gestaltet sind, oder das Wasser in fortschreitender Bewegung ist. Die Grösse und die Gestalt der von jedem Flüssigkeitstheilchen einer Welle durchlaufenen Bahn wurde durch die beiden *Weber* entdeckt, indem sie Wasser zwischen parallelen Glaswänden (der Wellenrinne) in wellenförmige Bewegung versetzten. Unter das Wasser waren Bernsteinstückchen, welche dasselbe spezifische Gewicht hatten, gemischt, und aus der Bewegung dieser wurde die Bewegung der Wassertheilchen gefunden. Es ergab sich daraus, dass die Entstehung der oscillirenden Wellen folgende ist.

Fig. 211.



Wenn die kleinen Kreise, Fig. 212, die Bahnen von acht hinter einander liegenden Wassertheilchen *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h* auf der Länge

Fig. 212.



am einer ganzen Welle vorstellen, und das Theilchen *a* bereits einen ganzen Umfang nach der Richtung des Pfeils durchlaufen hat, so hat *b* erst ohngefähr $^7/_8$ desselben durchlaufen und befindet sich also in 7. Das Theilchen *c* hat ohngefähr $^6/_8$ seiner Bahn gemacht und ist darum erst in 6. Ebenso sind *d*, *e*, *f*, *g* und *h* bis 5, 4, 3, 2, 1 gekommen, indem sie erst $^5/_8$, $^4/_8$, $^3/_8$, $^2/_8$, $^1/_8$ ihrer Bahn durchlaufen haben. Die Oberfläche der Welle geht alsdann durch die Punkte *a*, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, *m*. Auf gleiche Art ändert sich die Gestalt jeder tiefern Schichte, welche im ruhigen Zustande mit der horizontalen Oberfläche parallel war. *Man sieht daraus, dass die Höhe der Welle dem Halbmesser der Bahn jedes Theilchens und der Tiefe des Thales gleich ist.* Ein bestimmtes Verhältniss des horizontalen Durchmessers der Bahn jedes Flüssigkeitstheilchens zur Breite der Welle konnte nicht aufgefunden werden. Bei gleichhohen Wellen sind jedoch die horizontalen Durchmesser dieser Bahnen in den breitern Wellen kleiner.

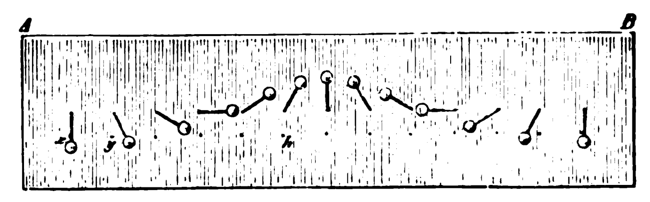
Bei dieser Bewegung findet aber kein eigentliches Fortschreiten der Flüssigkeit statt, sondern nur der Form ihrer Oberfläche und eine hin- und hergehende Bewegung der Wassertheilchen, bei welcher sie jedoch einander niemals hindern können, indem jedes folgende erst etwas später an der Stelle eintrifft, welche das vorhergehende verlassen hat. Auch sieht man daraus, *dass jede Welle in derselben Zeit um ihre ganze Breite vorwärts schreitet, in welcher ein Theilchen einen seiner Umläufe vollendet.*

Die oben beschriebene Bewegung der Wassertheilchen ist in der Wirklichkeit oft gestört durch mancherlei Ursachen und wird desshalb eine in sich zurücklaufende Bahn, die viele kleine Abweichungen zeigt.

Zum leichtern Verständniss der Wellenlehre überhaupt und des Entstehens der oscillirenden Wellen habe ich folgenden Apparat, Fig. 213, construirt.

A B ist der Aufriss, *C D* der Grundriss eines etwa 1 Meter langen Kästchens von Holz. Die Vorder- und die Rückseite enthält 13 Löcher in gleichen Abständen, in welchen eben so viele Kurbeln wie *m n* sich drehen lassen. Ein hölzernes Verbindungsstück *p q*, welches aus zwei auf einander passenden Hölzern zusammengesetzt ist, umschliesst die einzelnen Kurbeln so, dass wenn durch die Kurbel *k* die mittelste von ihnen gedreht wird, die andern alle an der Umdrehung gleichen Antheil nehmen müssen, wie nachstehende Fig. 214 noch deutlicher zeigt. Auf das vordere Ende der Achsen dieser Kurbeln sind mittelst Schräubchen etwas kürzere Drähte, als der Abstand der Löcher ist, senkrecht befestigt. An das Ende jedes Drahtes ist eine weisse Glasperle gekittet, und die Drähte sind so gestellt, dass, wenn alle Kurbeln parallel stehen, der erste Draht *x* z. B. die vertikale Stellung hat, und jeder folgende mit diesem einen andern Winkel bildet. Ist der Abstand der äussersten Löcher in 12 Theile getheilt, so bildet der zweite Draht mit dem ersten einen Winkel von $\frac{360}{12} = 30^0$, der dritte Draht mit dem ersten einen Winkel von 60^0 u. s. w. Dreht man alsdann an der Kurbel *k*, so beschreibt jede Perle einen Kreis und man erhält die Vorstellung einer fortschreitenden oscillirenden Welle. Um aber auch das *Entstehen* der oscillirenden Wellen zu zeigen, kann man vor den obigen Apparat einen zweiten stellen, der aus einem einfachen Kästchen, Fig. 215, besteht, welches eben so viele gleichhohe und gleichweit abstehende Löcher hat, als das vorige. In jedem gegenüberstehenden Paar Löcher liegt die Achse *tu* einer kleinen Kurbel *tuv*, an die vorne ebenfalls ein Draht mit einer Glasperle senkrecht befestigt ist; nur sind hier alle Drähte mit den Kurbeln parallel. Stellt man nun diesen Apparat vor den ersten, so dass die erste Kurbel mit ihrem Ende bei *x*, in der Fig. 213 die zweite mit ihrem Ende bei *y* u. s. w., die sechste mit ihrem Ende *v* bei *h* steht, und dreht man die Kurbel *k* in der Richtung, dass die Perlen des ersten Apparates wie die Zeiger einer Uhr herumgehen müssen, so stösst zuerst der erste Draht desselben bei *x* an die erste Kurbel des zweiten Apparates, etwas später stösst der zweite Draht bei *y* an die zweite Kurbel des zweiten Apparates u. s. w., so dass zuerst die erste Perle, etwas später die zweite, sodann die dritte in Bewegung kommt, und die letzte ihre Be-

Fig. 213.



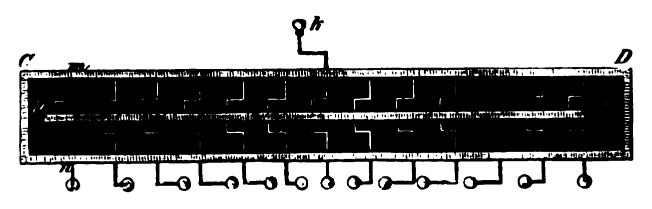


Fig. 214.

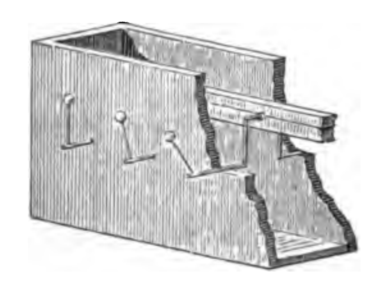
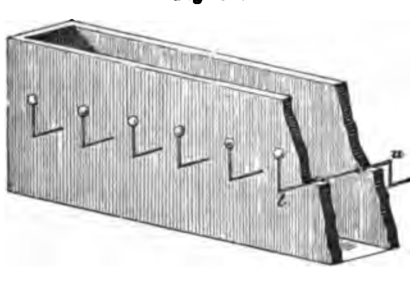


Fig. 215.



wegung gerade beginnt, wenn die erste *einen* Umlauf vollendet hat. Es ist gut, sämmtliche Apparate schwarz anzustreichen.

§. 160.

Eine andere Gattung von Wellen entsteht dadurch, dass man in einem Kanal von dem einen Ende her einen Theil des Querschnitts durch Hineingiessen von Wasser, Oeffnen einer Schleusse, Fortschieben u. s. w. vergrössert. Es bildet sich ein Wasserberg, welcher immer weiter schreitet, während jedes einzelne Wassertheilchen nur um eine Kleinigkeit in derselben Richtung verschoben wird. Ist der Kanal begränzt, wie in einem Brunnentrog, so geht dieser Berg auf dieselbe Art zurück. Diese Wellen kommen in der Regel einzeln vor und nicht in Gesellschaft, wie die oscillirenden. Nur wenn die Wassermasse, welche den Berg bilden soll, bei unverhältnissmässiger Tiefe zu gross ist, löst sie sich in einzelne Berge auf, welche mit verschiedener Geschwindigkeit fortschreiten. Oft entsteht hinter dem Berg ein Thal; aber auch dieses schreitet nicht mit gleicher Geschwindigkeit fort und trennt sich daher bald von ihm. Diese Wellen, die zuerst *Scott Russel* genauer beobachtet und untersucht hat, übertragen durch den Berg die lebendige Kraft, welche an dem einen Ende des Kanals erzeugt wird, auf die grössten Entfernungen fast ungeschwächt, und wurden daher von ihm *Transmissionswellen* genannt. Die Fluth ist eine solche Welle von ungeheurer Grösse. Die Wassertheilchen beschreiben in diesen Wellen keine geschlossenen Kurven, sondern offene Bogen, und in grösseren Tiefen gerade Linien, an deren Ende sie stehen bleiben, bis die Welle zurükkommt. Die Geschwindigkeit c dieser Wellen wird nach *S. Russel* für einen gleichförmigen Kanal durch nachstehende Formel gefunden, in welcher h die Tiefe des Wassers und h' die Höhe des Berges über dem Niveau bezeichnet

$$c = \sqrt{9{,}81\,(h + h')}.$$

Sie nimmt darum ab, wenn die Höhe des Berges kleiner wird, und schreitet in tiefen Kanälen schneller fort, als in weniger tiefen.

Ausser diesen Wellen gibt es noch eine vierte Art von Wellenbewegung, die in fliessendem Wasser beobachtet wird, und die in Schwingungen ihren Grund zu haben scheint, welche denen ähnlich sind, die nach §. 118 *Savart* beobachtet hat; denn die Geschwindigkeit eines Baches oder Kanals ändert sich jeden Augenblick, so dass sie periodisch zu- und abnimmt.

§. 161.

Die Wellenbewegung der Oberfläche der Flüssigkeit ist nach dem Frühern bei den oscillirenden Wellen nur eine Folge der Bewegung ihrer Theilchen in vertikalen Bahnen, und die Figur der Welle das Bild jener krummen Linie, welche in einem gewissen Augenblicke durch alle die Stellen gezogen wird, in welchen gerade jedes oberste Wassertheilchen sich befindet. Ausserdem bemerkt man, dass die Zeit, in welcher jedes Theilchen seine Bahn zurücklegt, mit der Grösse dieser Bahn wächst, aber auch abhängig ist von dem Verhältnisse ihrer Breite zu der Höhe. Je tiefer ein Wassertheilchen unter der Oberfläche sich befindet, desto niedriger ist der vertikale Durchmesser seiner Bahn, und sehr tief liegende Theilchen gehen nur noch horizontal hin und her. Alle senkrecht unter einander liegenden Theilchen scheinen ihre Bewegung zugleich zu beginnen, und man bemerkt, dass die an der Oberfläche liegenden etwas

langsamer rotiren als die tieferen. Doch bemerkt man dieses Hin- und Hergehen noch in einer Tiefe, welche der 350maligen Höhe der Welle gleich kommt. Wenn die Ursache der Wellenerregung aufhört zu wirken, so beschreiben die Wassertheilchen immer kleinere Bahnen, bis sie zuletzt ganz zur Ruhe kommen.

Auch die Geschwindigkeit der oscillirenden Wellen wächst mit der Tiefe der Flüssigkeit und mit der Höhe des Wellenbergs in einem gewissen Verhältniss. Aus vielen Versuchen der beiden *Weber* scheint hervorzugehen, dass diese Geschwindigkeit von der im vorigen §. angegebenen nicht viel differirt. Auf die Geschwindigkeit der Meereswellen ist diese Formel aber nicht anwendbar. Sie beträgt nur 10 bis 30 Met. Die Breite der Welle ergibt sich aus dieser Geschwindigkeit und der Zeit, in welcher ein Theilchen oscillirt. Legt z. B. die Welle in 1 Sekunde 20 Zoll zurück, und ist die Dauer der Oscillation eine halbe Sekunde, so ist die Breite der Welle gleich 15 Zoll.

Die Höhe der Wellen beträgt auf Landseen höchstens 1 ½ Meter, im mittelländischen Meer 4 Meter, im atlantischen Ocean bis 10 Meter und in seltenen Fällen auch mehr.

Ferner wird die Geschwindigkeit der Wellen vermindert, wenn sie während ihres Fortschreitens an Länge zunehmen (wie die Kreiswellen, die durch einen in die Mitte eines Teichs geworfenen Stein entstehen), und wird vergrössert, wenn ihre Länge abnimmt, wie bei den Wellen, welche aus dem Teiche in einen sich verengenden Kanal treten. Bleibt die Länge unverändert, so nimmt die Welle im Fortschreiten an Breite zu und an Höhe ab. Dabei wird ihre Geschwindigkeit nur wenig vermindert. Das spezifische Gewicht der Flüssigkeit scheint keinen beträchtlichen Einfluss auf die Beschleunigung oder auf die Verlangsamung der Wellen zu äussern.

§. 162.

Wenn sich zwei an entgegengesetzten Orten erregte Wellen von gleicher Höhe begegnen, so durchkreuzen sie sich. In dem Augenblicke, wo ihre höchsten Stellen zusammenfallen, bilden sie einen Wellenberg, welcher beinahe die doppelte Höhe hat. Ebenso bildet sich ein tieferes Thal, wenn sich zwei Thäler begegnen. Fällt ein Berg mit einem Thale zusammen, so entsteht keins von beiden. Die Bewegung der Flüssigkeitstheilchen ist in dem Augenblick, in welchem zwei gegen einander gerichtete Wasserberge zu einem einzigen sich vereinigen, vertikal unter dem Gipfel, also in *a*, Fig. 216, senkrecht aufwärts und nachher wieder abwärts. Die Theilchen an der Seite, wie *b* und *c*, bewegen sich in einer nahezu geraden Linie auf- und wieder abwärts. Die Lage dieser Linie weicht aber um so mehr von der senkrechten ab, je weiter rechts oder links sie vom Gipfel der vereinigten Welle ist. Daraus geht hervor, dass die in entgegengesetzter Richtung, in elliptischen oder kreisförmigen Bahnen sich bewegenden Theilchen nur hinsichtlich des horizontalen Theils der Bewegung sich

Fig. 216.



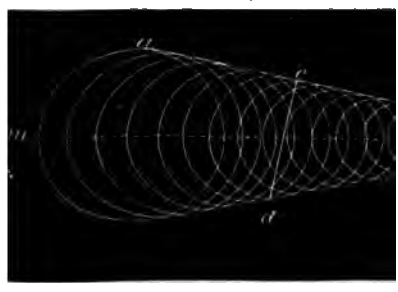
‹schränken, und in der einzigen Richtung, in der sie wieder ausweichen ›nnen, sich bewegen. Haben sie die höchste Höhe erreicht, so erfolgt ieder ein Sinken. Weil aber die Theilchen eine grössere Höhe erreicht ıben, als vorher die Höhe jedes einzelnen Wasserbergs war, so sinken e auch tiefer unter das Niveau. Dieses Sinken bewirkt auf jeder Seite ›s Berges ein Steigen seines Fusses, wodurch wieder zwei Wellenberge ıtstehen, die nach entgegengesetzter Richtung fortschreiten; so dass es ıssieht, als ob die beiden Wellen ungestört durch einander fortgehritten wären. Im Momente der Durchkreuzung findet ein kleiner ›itverlust statt; nachher gehen die Wellen mit der frühern Geschwingkeit fort.

Bei der Durchkreuzung paralleler Wellen mit andern, deren Richng nicht gerade entgegengesetzt ist, müssen sich Berge und Thäler ırchschneiden. Bezeichnen in Fig. 217 die starken Striche den höchsten Theil der Wellenberge, von oben gesehen, und die schwachen Striche den tiefsten Theil der Thäler, so muss an allen mit *b* bezeichneten Punkten ein Berg mit doppelter Höhe, an allen mit *t* bezeichneten Stellen ein Thal von doppelter Tiefe, und an allen mit *o* bezeichneten Orten eine der ruhigen Oberfläche gleiche Ebene entstehen. Diese Erscheinung nennt man die *Interferenz* der Wellen. Sie kann beobachtet werden, wenn man in einem Gefässe mit Quecksilber an

Fig. 217.

›ei verschiedenen Orten Wellen erregt. Auf dem Meere kann man be›nders da, wo es von nicht allzuweit entfernten Küsten begränzt ist, ft drei bis vier verschiedene Wellensysteme wahrnehmen. Auf der ›hen See beobachtet man aber zuweilen auch nur ein einziges. In iesem Fall sind die Wellen parallel, wie die Furchen eines frisch geflügten Feldes.

Fig. 218.



Werden mehrere Wellen neben einander erregt, wie in Fig. 218, indem man eine Anzahl Steinchen nach einander in's Wasser wirft, so bildet sich aus der Interferenz ihrer Berge auf jeder Seite eine Welle *ab*, welche nun ebenso fortschreitet, als käme sie von einem Punkte, welıer in der zu ihr senkrechten Richtuug *cd* liegt. Aus demselben Grunde erden die von einem eckigen Körper erregten Wellen in einiger Entrnung rund.

§. 163.

Wenn eine Welle *acb*, Fig. 219, gegen eine feste Wand *mn* stösst, ıd man theilt, um ihre Gestalt in den verschiedenen Momenten der

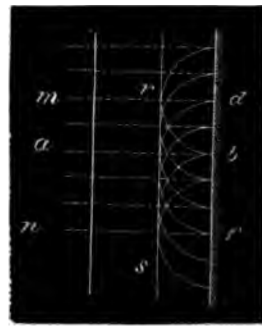
Fig. 219.



Fig. 220.



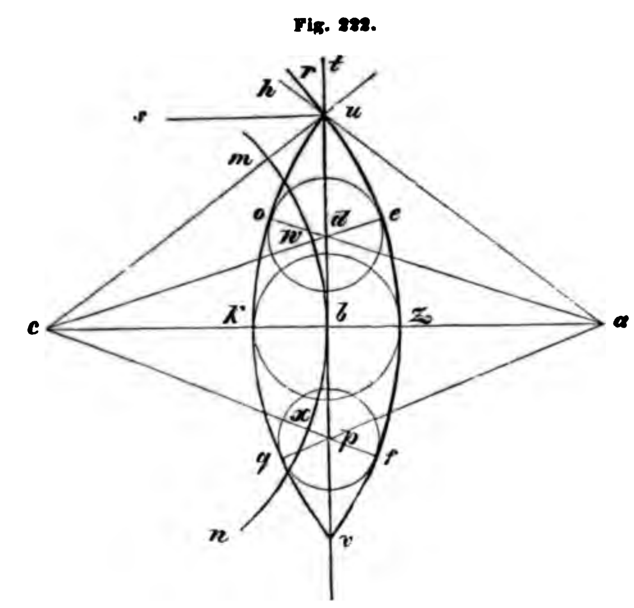
Fig. 221.



Zurückwerfung zu finden, die Dauer einer Schwingung z. B. in vier gleiche Theile, so ist das Ende des Thals nach dem ersten Zeittheilchen in *f*, und der Berg hat an der Wand die doppelte Höhe. Am Ende des zweiten Zeittheilchens ist das Ende des Thals in *g*, und der Anfang des zurückgestossenen Berges ebenfalls in *g*; desshalb heben sie sich nun auf. Am Ende des dritten Zeittheilchens ist das Ende des Thals in *h*, der Anfang des reflectirten Berges in *i*, desshalb hat das Thal doppelte Tiefe; am Ende des vierten Zeittheilchens ist der Anfang des reflectirten Berges in *k*, und der des Thales in *l*. Die reflectirte Welle unterscheidet sich also von der vorhergehenden durch die entgegengesetzte Lage von Berg und Thal gegen die Wand. Denkt man sich von derselben Welle, deren Profil in Fig. 219 abgebildet wurde, einen sehr schmalen Streifen *ab* von oben betrachtet, wie in Fig. 220, so wird das Sinken des Berges in *b* eben so gut eine neue, halbkreisförmige Welle erzeugen, als wenn in *b* an der Wand *pq* ein Stein in's Wasser gefallen wäre, und es wird darum *b* als der Mittelpunkt einer neuen Welle angesehen werden müssen. Dasselbe gilt für eine Reihe von Punkten *d*, *b* und *f*, Fig. 221, welche entweder gleichzeitig oder hinter einander von dem Wellenberge *mn* getroffen werden. Werden sie gleichzeitig getroffen, oder ist der Wellenberg mit der Wand parallel, so steigt und sinkt das Wasser in allen Punkten, wie *d*, *b*, *f* u. s. w., zu gleicher Zeit. Stellt man sich vor, es habe sich durch das Sinken in einem gewissen Augenblick um *d* eine Halbkreiswelle von dem Radius *dr* gebildet, so hat auch die um *b* und *f* entstandene Halbkreiswelle die nämliche Grösse. Durch die Interferenz aller dieser elementaren Kreiswellen entsteht die mit der Wand parallele Welle *rs*, welche nun in einer zu derselben senkrechten Richtung zurückgeht.

Wenn aber die verschiedenen Stellen der reflectirenden Wand nach einander getroffen werden, wie z. B. wenn die von dem Punkt *c*, Figur 222, ausgehende Kreiswelle *mbn* auf die Ebene *tv* trifft, so sind die an der letztern sich bildenden elementaren Wellen von ungleicher Grösse. Es sei *cb* senkrecht zu *uv*, so wird *b* von der Welle *mbn* zuerst getroffen. In der Zeit, in welcher die Welle *mbn* bis *uzv*, also um den Raum *bz*, ohne das Dasein der Wand fortgeschritten wäre, hat sich um *b* eine Halbkreiswelle *bk* gebildet, deren Radius $bk = bz$ ist. Weil der Punkt *p* von der Welle *mbn* um so viel später getroffen wird, als diese Welle Zeit braucht, den Raum *xp* zu durchlaufen, so ist der

Fig. 222.



Radius der um p entstandenen Halbkreiswelle pq in demselben Zeitmoment, in welchem sich um b die Halbkreiswelle bk gebildet hat, nur $bk - px$. Da aber $bk = bz = fx$, so ist auch $pq = xf - px$ oder $pq = fp$. Es entsteht also um irgend einen Punkt p der Wand in obiger Zeit eine elementare Halbkreiswelle, deren Radius gleich dem eines zweiten Halbkreises fp ist, der den Kreisbogen uzv berührt. So ist also auch die bei w entstehende Halbkreiswelle do von gleicher Grösse mit der andern de, die von d aus beschrieben werden müsste, um den Kreisbogen uzv zu berühren. In den Punkten u und v haben sich noch keine solche elementare Reflexionswellen bilden können, weil in ihnen die Welle mbn erst ankommt, wenn sie in der Mitte b schon bis k reflectirt ist. Denkt man sich von b bis u links von uv unzählige solche elementare Wellen, so haben sie also die nämliche Grösse, wie die rechts liegenden Halbkreise, welche den Kreisbogen uzv berühren. Sie werden von b nach u hin immer kleiner; ebenso ist es von b bis v. Durch die Interferenz aller dieser Wellen muss sich die reflectirte Welle ukv, welche alle die kleinen Halbkreise berührt, bilden. Ebenso berührt aber der Kreisbogen uzv die kleinen Halbkreise rechts von uv. Es sind also die reflectirte Welle ukv und der Kreisbogen uzv einander vollkommen gleich. Verlängert man darum cb und macht man $ba = cb$, so ist auch a der Mittelpunkt der reflectirten Welle ukv, so wie c der Mittelpunkt von uzv ist, woraus folgt, *dass eine kreisförmige Welle von einer festen Wand gerade so zurückgeworfen wird, als käme sie von einem Punkt a, welcher eben so weit hinter der Wand liegt, als der Mittelpunkt c der ursprünglichen Welle mn von ihr entfernt ist.*

In u bildet das unendlich kleine Stück ur der ankommenden Welle mit cu einen rechten Winkel, und ebenso ist das aus demselben Punkt u zurückgeworfene Wellenstück uo senkrecht zu au. Da nun cu und au mit der Wand tv gleiche Winkel cub und aub bilden, so müssen auch die zu ihnen senkrechten Wellenstücke ur oder ue und uo gleiche Winkel mit der reflectirenden Ebene bilden, und es findet also das folgende Gesetz statt: *Eine Welle wird unter demselben Winkel von einer ebenen Wand zurückgeworfen, unter welchem sie auffällt.*

Nennt man die zu einem Theile *u* der Welle *ur* senkrechte Linie *cu*, den *Wellenstrahl* der einfallenden Welle, und die Linie *ua* oder ihre Verlängerung *uh*, welche zu dem in *u* reflectirten Theile der Welle *uo* senkrecht ist, den Wellenstrahl der zurückgeworfenen Welle, ferner die zur Ebene *uv* senkrechte Linie *us* das *Neigungsloth*, so kann man obigen Satz auch so ausdrücken: *Der einfallende und der zurückgeworfene Wellenstrahl müssen mit dem Neigungslothe gleiche Winkel bilden.*

Dasselbe gilt desshalb auch von einer geradlinigten schiefen Welle, weil die gerade Linie als ein Theil eines sehr grossen Kreises betrachtet werden kann.

§. 164.

Aus den im vorigen §. entwickelten Gesetzen folgt nun:

1) Dass die im Mittelpunkte eines kreisförmigen Gefässes, dessen Wände lothrecht sind, erregten Wellen beständig nach diesem Mittelpunkte zurückkehren müssen.

2) Dass alle Theile einer in dem einen Brennpunkte *a* einer Ellipse, Fig. 223, erregten Welle zugleich in dem andern Brennpunkte *b* eintreffen müssen, indem die Ellipse die beiden Eigenschaften hat, dass erstens in jedem Punkte *x* ihres Umfanges der Winkel *axy* gleich dem Winkel *bxz* ist, und zweitens, dass die Wege *ax* und *bx* zusammengenommen der Summe der Wege *av* und *bv* gleich sind.

Fig. 223.

3) Folgt daraus, dass alle Theile einer in dem Brennpunkte *a* einer Parabel *mno*, Fig. 224, erregten Welle, nach der Zurückwerfung von der Wand *mno*, in gerader Linie wie *dr*, welche senkrecht zur Achse *ab* ist, nach der Richtung der Pfeile fortgehen müssen, indem die Parabel die beiden Eigenschaften hat, dass in jedem beliebigen Punkte *c* der Winkel *ack* gleich dem Winkel *dcl* ist, wenn *cd* parallel ist mit der Achse *ab*, und zweitens, dass die Summe der Linien *ac* und *cd* so gross ist, als die Linien *af* und *fg* zusammengenommen. Wenn also umgekehrt eine Welle wie *tb* oder *dr*, welche senkrecht zu *ab* ist, nach der den Pfeilen entgegengesetzten Richtung fortschreitet, so müssen alle durch sie an den Wänden der Parabel erregten Wellen zu gleicher Zeit in *a* eintreffen; es muss also in *a* ein viel höherer Wellenberg entstehen. Aus diesem Gesetze folgt:

Fig. 224.



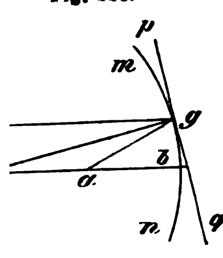
4) Dass wenn in dem Brennpunkte *a* einer Parabel *mn*, Fig. 225, Wellen erregt werden, welche nach der Reflexion senkrecht zu *ab* in der Richtung der Pfeile fortschreiten, und *op* ein zur nämlichen Achse senkrechtes Parabelstück ist, dessen Brennpunkt in *b* liegt, alle Theile

Fig. 225.

einer Welle, die von *a* kommt, nach der Reflexion von *op* zu gleicher Zeit in *b* eintreffen müssen.

In Fig. 226 sei *mn* ein Kreisbogen, dessen Mittelpunkt *c* ist. Wenn $ca = ab$ angenommen wird, so ist für einen sehr kleinen Bogen *bg*, die Linie $ag = ab = ac$, also der Winkel *agc* gleich dem Winkel *acg*. Zieht man die Linie *gf* parallel zu *bc*, so ist der Winkel *acg* gleich *cgf*, folglich auch *agc* gleich *cgf*, oder *qgq* gleich *fgp*. Für einen sehr kleinen Theil des Kreises gilt also, hinsichtlich der Reflexion der Wellen, dasselbe Gesetz, wie für die Parabel; der Brennpunkt desselben liegt in *a*, wenn die Brennweite *ab* gleich dem halben Radius ist.

Fig. 226.



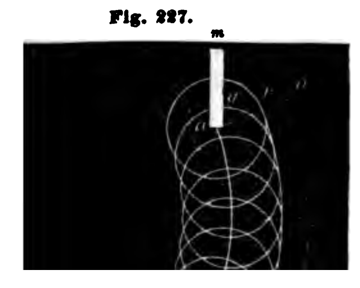
Zu den Versuchen über die Reflexion der Wellen in kreisförmigen, elliptischen und parabolischen Gefässen nimmt man reines Quecksilber. Die Gefässe :ann man verfertigen, indem man z. B. ein Brettchen, welches elliptisch ge- n und 1 Zoll dick ist, in ein Kästchen von Holz von gleicher Tiefe legt, Harz Zwischenraum giesst, und nach dem Erkalten das Brettchen wieder heraus Die Wellen erregt man durch Quecksilber, welches tropfenweise durch einen [richter in einen der Brennpunkte fällt.

Jm zu zeigen, dass ein sehr kleiner Theil des Kreises die Wellen ebenso re- wie eine Parabel, nehme man an, die vom Scheitelpunkt *b* (Fig 226) genom- .bscisse x sei sehr klein, z. B. $\frac{1}{100}$ des Durchmessers d, so ist x^2 verschwin- ein dagegen. Die Gleichung des Kreises $y^2 = dx - x^2$ wird unter dieser etzung $y^2 = dx$, also die Gleichung einer Parabel, deren Parameter $= d$ nun in der Parabel die Brennweite *ab* gleich dem vierten Theile des Para- ist, so ist sie hier gleich dem vierten Theile des Durchmessers oder gleich lben Radius.

§. 165.

Venn in dem Punkte *c*, Fig. 227, eine kreisförmige Welle erregt nd diese gegen eine feste Wand *mo* stösst, in welcher eine Oeffnung *ab* angebracht ist, so geht der mittlere Theil derselben ungehindert durch. In den Punkten *a* und *b* erregt aber die emporgestiegene Flüssigkeit bei ihrem Sinken neue Wellen, welche sich ringsum verbreiten, und daher auch hinter der Wand bei *g* und *f* zur Seite fortschreiten. Ebenso erregen alle Punkte zwischen *a* und *b* durch ihr Sinken gleichgrosse kreisförmige Wellen. Diese Verbreitung der durch die Oeffnung gegangenen Welle nach Richtungen, welche zur Seite ihrer ursprünglichen Bewegung liegen, nennt man ihre

Fig. 227.



Beugung. Die von den Punkten zwischen a und b ausgehenden Wellen durchkreuzen sich, wie die Wellen in Fig. 217. In den gebeugten Wellen muss es darum Orte geben, an welchen die Höhe und Tiefe grösser ist, als bei den ungehindert fortschreitenden Wellen, und andere, an welchen beide gleich Null sind. Auch müssen offenbar die zwischen der Verlängerung von ca und cb, Fig. 227, befindlichen Wellen höher sein als die gebeugten.

§. 166.

Wenn in Fig. 228 (1) ab die Oberfläche einer Flüssigkeit ist, welche sich in einem Gefässe mit senkrechten Wänden befindet, und man erregt bei a eine Welle $acmdb$, die nach einer ganzen Schwingungszeit, welche 1 heissen mag, genau die ganze Breite des Gefässes einnimmt, so wird diese Welle nach der Zeit 2 vollkommen reflectirt sein und die Lage $admcb$ (Fig. 228) (2) nach §. 163 haben müssen. Ist nun am Ende der Zeit 1 bei a eine zweite Welle erregt worden, so hat diese am Ende der Zeit 2 die Figur $axmyb$ (Fig. 228) (2). Die Berge und Thäler der ersten und der zweiten Welle heben sich also auf. Am Ende der Zeit $2\,{}^1/_4$ hat die erste Welle die Figur $dmcb$, Fig. 228 ($2\,{}^1/_4$), und die zweite die Fig. $mxby$. Es entsteht also ein Thal von doppelter Tiefe. Am Ende der Zeit $2\,{}^1/_2$ hat der Berg der ersten Welle die Lage adm, Fig. 228 ($2\,{}^1/_2$), und ihr Thal die Lage acm; ebenso hat der Berg der zweiten Welle die Lage myb, und ihr Thal die Lage mxb. Die Oberfläche ist also wieder eben. Am Ende der Zeit $2\,{}^3/_4$ hat die erste Welle die Lage $cmdb$, Fig. 228 ($2\,{}^3/_4$), und die zweite ist in $mybx$. Es entsteht also ein Berg von doppelter Höhe. Am Ende der Zeit 3 bezeichnet $acmdb$, Fig. 228 (3), die Lage der ersten Welle, und $ayxb$ die der zweiten. Es müssen also im folgenden Zeittheilchen $3\,{}^1/_4$ dieselben Wellen-Erscheinungen wie im Zeittheilchen $2\,{}^1/_4$ wiederkehren. Es bildet sich aus der Ebene ein Thal von doppelter Tiefe, daraus wieder eine Ebene; und endlich ein Berg von doppelter Höhe u. s. w. Auf diese Art bilden sich also auch in Flüssigkeiten regelmässig wiederkehrende oder *stehende Wellen*. Die Punkte m und b bei ($2\,{}^1/_4$) und ($2\,{}^3/_4$) sind ihre *Schwingungsknoten*.


Fig. 228.



Auf dieselbe Weise kann man sich die Bildung mehrerer stehenden Wellen erklären, wenn die Länge der ursprünglich erregten Wellen irgend ein Theil von der Breite des Gefässes ist.

C. Wellenbewegung elastisch-flüssiger Körper.

§. 167.

Auch in elastischen Flüssigkeiten geben Störungen in dem Gleichgewichte einzelner Theilchen Veranlassung zu Bewegungen, welche die

rung des Gleichgewichts anderer Theilchen zur Folge haben, und um von einem Orte des Körpers zum andern sich fortpflanzen. Der nd besteht in einer Fortbewegung der Luft, wobei diese bald mit ichförmiger, bald mit ungleichförmiger Geschwindigkeit strömt. Zulen deutet die Bewegung des Staubes, besonders bei Stürmen, auf lliche Bewegungen der Luft hin, wie bei den oscillirenden Wasserlen; zuweilen scheint das Fortrücken, wie bei den Transmissionswel- nur in kurzen, vorübergehenden Stössen zu bestehen. In andern llen bewegt sich die Luft in Wirbeln, die durch zwei seitlich sich ffende entgegengesetzte Winde erzeugt werden. Die Wirbelstürme oder klonen sind kreisförmige Drehungen der Luft, deren windstilles Cenm sich auf beiden Hemisphären der Erde stets vom Aequator entnt. Auf der nördlichen Erdhälfte geht ihre Drehung gewöhnlich rechts-, der südlichen linksherum. In ihrem Centrum ist oft der Luftdruck $^1/_{12}$ geringer als ausserhalb der Cyklone. Die hier zu betrachtenı Bewegungen aber sind jene kleinsten Oscillationen, bei welchen ein es Massentheilchen eines elastischen Körpers, der fest oder flüssig ı kann, zusammengedrückt und wieder ausgedehnt wird. Die Erscheiıgen, welche dadurch hervorgebracht werden, kann man, wie es hier chieht, zuerst im Allgemeinen betrachten. Sobald aber wegen der tur des schwingenden Mediums und der Organisation des davon affiten Sinnes Rücksicht auf ersteres und auf die Richtung der Schwinıgen zu nehmen ist, in welcher sie auf den Sinn wirken, müssen sie der betreffenden Materie (Schall, Licht, Wärme), ihre Stelle finden. r der Kürze wegen wird desshalb hier, statt des allgemeinen Ausıckes: *elastischer Körper* oder *Flüssigkeit*, das Wort *Luft* gebraucht, l vorausgesetzt, die Elastizität der elastischen Masse sei nach allen htungen gleich gross.

§. 168.

Wenn *abmn*, Fig. 229, eine Kugel vorstellt, welche rings von ft umgeben ist, und es wird diese Kugel aus irgend einer Ursache tzlich ausgedehnt, so müssen die um sie befindlichen Lufttheilchen eine Bewegung erhalten. Wenn der Stoss, welchen ein Lufttheilchen dem zunächst liegenden ertheilt, mit unendlicher Geschwindigkeit erfolgte, so müsste derselbe in dem nämlichen Augenblick alle Lufttheilchen bis an die äusserste Gränze der Luft in Bewegung setzen. Die Erfahrung lehrt aber, dass die Bewegung sich nur allmälig fortpflanzt, und es ist bereits im §. 152 ein Beispiel dieser Art angeführt worden. Jedes zunächst um die Kugel befindliche Lufttheilchen erhält durch den Stoss eine gewisse Geschwindigkeit, vermöge deren es auf ein benachbartes Lufttheilchen wirkt; dieses wird dadurch etwas später in

Fig. 229.



Bewegung gesetzt u. s. w. Wenn durch den Widerstand, welchen das erste Lufttheilchen in der Ruhe der benachbarten Lufttheilchen fand, seine Bewegung endlich Null geworden ist, nachdem sie allmälig abgenommen hatte, und nun die Kugel wieder in ihre vorige Gestalt sich zusammenzieht, so wird sich vermöge der hinter ihm entstehenden Luftleere auch jenes erste Lufttheilchen in rückgängige Bewegung versetzen. welche beschleunigt ist, bis sie, allmälig wieder abnehmend, endlich gleich Null wird. Etwas später ist auch jedes von ihm in Bewegung gesetzte Lufttheilchen zur Ruhe gekommen, und tritt nun auf gleiche Art den Rückweg an; seine rückgängige Bewegung wird darauf ebenfalls etwas später gleich Null. Auf dieselbe Art wird ein drittes, viertes Lufttheilchen immer etwas später in Bewegung gesetzt, und so kann ein zehntes oder hundertstes Lufttheilchen gerade seine erste Bewegung beginnen, während das erste Lufttheilchen seine rückgängige Bewegung vollendet hat. Ist dieses hundertste Lufttheilchen in h, während das erste wieder in a sich befindet, so heisst ah die *Länge* einer Welle (bei Andern die Breite), und die ganze Schichte von der Dicke ah oder bi rings um den Körper heisst eine *Welle*. In jeder Welle hat also die Hälfte der Lufttheilchen eine rückgängige und die andere Hälfte eine fortschreitende Bewegung. Manche Physiker machen daraus zwei Wellen, welches schon zu unzähligen Missverständnissen geführt hat. Alle in dem Kreis $hiwv$ befindlichen Lufttheilchen beginnen also zugleich ihre Bewegung, und so entsteht auf gleiche Art eine zweite Welle $rsxy$, daraus wieder eine dritte u. s. w. In dem Augenblicke, in welchem die Lufttheilchen in ab keine Bewegung mehr haben, ist die rückgängige Bewegung der Lufttheilchen in ed am grössten, die der Lufttheilchen in gf weder vor- noch rückwärts, die vorwärtsgehende der Lufttheilchen in kl am grössten, und die der Lufttheilchen in hi gerade beginnend. Man kann darum jeden Kreis, z. B. ed, für den Anfang einer Welle nehmen, nur ist alsdann das Ende derselben da, wo die relativ nächsten Lufttheilchen dieselbe Geschwindigkeit nach der nämlichen Richtung haben. Dass dabei das Lufttheilchen a nicht den Raum ah durchläuft, sondern einen viel kleinern, und dass es nicht auf die Richtung ankommt, nach welcher es schwingt, wird zur Beseitigung jedes Missverständnisses bemerkt. Es können nämlich die elastischen Flüssigkeiten nicht nach der Richtung ah von a weggedrückt werden, ohne auch eine Ausbreitung zu erleiden, indem jedes kugelförmige Molekul dadurch elliptisch wird, und also eine zu ah senkrechte Ausdehnung erfährt. Die Längenschwingungen, parallel mit der Fortpflanzungsrichtung, sind also wohl von den dazu senkrechten Querschwingungen zu unterscheiden.

Aus dieser Erklärung folgt, dass auch für elastische Flüssigkeiten *die Zeit, in welcher die Bewegung durch die Länge einer Welle fortgepflanzt wird, der Schwingungszeit eines jeden Theilchens gleich ist,* oder *die Länge einer Luftwelle ist gleich dem Raume, um welchen die schwingende Bewegung fortgepflanzt wird, während ein Lufttheilchen eine ganze Schwingung vollendet.* Wenn die Kugel sich auf's Neue ausdehnt und wieder zusammenzieht, so werden neue Schwingungen erzeugt; im entgegengesetzten Falle währt zwar die Fortpflanzung der ersten Schwingung nach aussen fort, in den rückwärts liegenden Theilchen hört sie aber auf. Ebenso sieht man leicht ein, dass wenn die Elastizität der

Flüssigkeit, in welcher Schwingungen von einem Punkte aus erregt werden, nicht nach allen Richtungen gleich ist, die Oberfläche einer Welle eine andere, als die Kugelgestalt annehmen muss. *Fresnel* hat die Gestalt derselben bestimmt, wenn die Elastizität nach drei Hauptrichtungen verschieden ist.

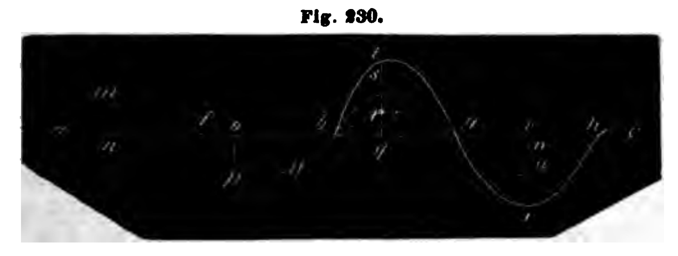
Die Geschwindigkeit des Lufttheilchens in der Zeit t, von dem Augenblick an gerechnet, wo seine Geschwindigkeit Null war, wird durch dieselben Gleichungen wie im §. 151 gefunden, indem man dort für T die Dauer einer ganzen Schwingung oder die Fortpflanzung der Bewegung durch eine Wellenlänge, und für c die grösste Geschwindigkeit setzt, die das Lufttheilchen erhält.

§. 169.

Wenn zwei Luftwellen, welche von verschiedenen Punkten ausgehen, sich begegnen, so können sie entweder gerade entgegengesetzt sein, oder sich unter irgend einem Winkel durchschneiden. Die Wirkung auf irgend einen ruhenden Punkt hängt dann ab von der Richtung und Geschwindigkeit der Schwingung derjenigen Lufttheilchen, welche ihn treffen. Ist diese gerade entgegengesetzt und gleich, so wird die Gesammtwirkung Null. Gehen die Geschwindigkeiten nach einerlei Richtung, so ist die Geschwindigkeit jenes Punktes gleich der Summe der Geschwindigkeiten, also die doppelte, wenn beide gleich waren. Gehen aber die Richtungen nach entgegengesetzten Seiten und sind die Geschwindigkeiten ungleich, so ist die Geschwindigkeit des Punktes dem Unterschiede von beiden gleich, und bilden endlich die Richtungen einen Winkel mit einander, so findet man die Wirkung beider mit Hülfe der Lehrsätze von dem Parallelogramm der Kräfte.

Zur Erläuterung können zwei Luftwellen dienen, die von zwei verschiedenen, um *eine ganze Wellenlänge* entfernten Punkten a und b, Fig. 230, ausgehend, zugleich auf die in der Richtung ac liegenden Lufttheilchen wirken. Haben die Wellen, welche von a ausgehen, gleiche

Fig. 230.



Länge, wie die, welche von b ausgehen, und bezeichnet für irgend einen Augenblick die Linie mn die Richtung und Grösse der Geschwindigkeit des Lufttheilchens n, und op die entgegengesetzte Richtung und Geschwindigkeit des Lufttheilchens o in demselben Augenblicke, so ist $amfpb$ die Geschwindigkeitskurve des von a kommenden Wellensystems, dessen Fortsetzung durch $bsguh$ angedeutet ist. Bezeichnet ferner qr die durch das zweite Wellensystem in demselben Augenblicke hervorgebrachte Richtung und Geschwindigkeit des Lufttheilchens q und vw die von v, so müssen beide Systeme vereint dem Lufttheilchen in q die Geschwindigkeit qt und dem in v die Geschwindigkeit vx ertheilen, wenn $qt = qs + qr$ und $vx = vw + vu$ *ist*, und es muss also daraus die Ge-

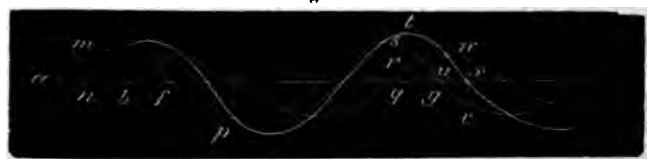
schwindigkeitskurve *btgxh* entstehen, oder diese ***beiden Systeme verstärken sich.*** Wenn aber, wie in Fig. 231, der Abstand der Punkte *a* und *b*,

Fig. 231.



von welchen beide Wellensysteme ausgehen, gleich ***einer halben Wellenlänge*** ist, und sämmtliche Buchstaben die nämliche Bedeutung haben, so ist das resultirende Wellensystem *btgxh*, wenn $qt = qs - qr$ und $vx = vu - vw$ ist. Sind also beide Systeme gleich, ***so heben sie sich auf***, im andern Falle *schwächen* sie sich nur. Beträgt endlich der Abstand der Punkte *a* und *b* eine *Viertels Wellenlänge*, wie in Fig. 232,

Fig. 232.



oder irgend einen andern Theil der ganzen Länge, so entsteht aus beiden Systemen ein drittes, dessen Wellen dieselbe Länge haben und dessen Gestalt gefunden wird, wenn man z. B. in *q* die Linie $qt = qr + qs$ macht. In *x* heben sich die Geschwindigkeiten *xw* und *xv* auf.

Man sieht aus dem Obigen, dass wenn sich die Höhe der einzelnen Wellensysteme, das heisst die grösste Geschwindigkeit, welche die Lufttheilchen während einer Vibration erhalten können, oder ihre ***Vibrations-Intensität nicht*** verändert und Welle auf Welle sich folgt, es im ersten Fall einerlei ist, ob die Punkte *a* und *b* um 1 oder 2, 3, 4 . . . ganze Wellenlängen von einander abstehen, und im zweiten Fall, ob sie um ½ oder 1½, 2½, 3½ . . . Wellenlängen entfernt sind u. s. w. Wenn aber die Vibrations-Intensitäten sich ändern, indem sie z. B. im Anfang grösser sind, so ist der Abstand der Punkte *a* und *b* von grösserem Einfluss.

Das Wellensystem, welches durch die Interferenz zweier Wellensysteme entsteht, deren Lufttheilchen nach einerlei Richtung schwingen, und in gleichen Zeiten eine Vibration vollenden, hat, wie Fig. 230, 231, 232 zeigen, Wellen von gleicher Länge mit jenen Systemen. Zur Verhütung von Missverständnissen ist es nöthig zu bemerken, dass die Richtung der Geschwindigkeiten, nach welchen die Lufttheilchen schwingen, eine ganz andere sein kann als die, welche in den drei vorhergehenden Figuren angenommen wurde: dass aber, welches auch diese Richtung sein mag, die entgegengesetzten Bewegungen sich immer ganz oder zum Theil aufheben.

§. 170.

Wenn, wie in Fig. 218, Seite 175, mehrere kugelförmige Luftwellen *dicht neben* einander erregt werden, so entsteht aus der Interferenz der-

selben eine die andern umschliessende Luftwelle, deren Gestalt man erhält, wenn man das ganze Wellensystem um die Linie *mn* dreht, und eine Fläche sich denkt, welche alle diese Kugelflächen berührt. Man kann darum auch annehmen, dass, wenn eine Reihe neben einander liegender Lufttheilchen durch die Fortpflanzung einer Welle *zugleich* in schwingende Bewegung versetzt wird, jedes Lufttheilchen der Mittelpunkt einer neuen, von ihm ausgehenden Welle wird, welche durch die Interferenz mit den übrigen eine eben so breite cylindrische Welle erzeugt als diejenige war, welche die Bewegung veranlasst hat.

Trifft darum eine Luftwelle auf die in einer Wand angebrachte Oeffnung *ab* (Fig. 227, Seite 179), so erregen die daselbst befindlichen Lufttheilchen neue Wellen, durch deren Interferenz die *gebeugten Wellen mg*, *fo* u. s. w. entstehen. Auch hier muss, wie in §. 169, an einigen Orten die Bewegung verstärkt, an andern geschwächt werden.

§. 171.

Wenn, wie in Fig. 222, Seite 177, eine kugelförmige Luftwelle, deren Mittelpunkt *c* ist, gegen eine feste Ebene *uv* sich fortbewegt, so wird derjenige Punkt von *uv* zuerst von ihr getroffen, welcher die geringste Entfernung von *c* hat, und also da liegt, wo eine von *c* auf die Ebene *uv* gezogene Senkrechte *cb* mit dieser zusammentrifft. Alle rings um *b* liegenden Punkte der Ebene werden die Mittelpunkte neuer Wellen, welche um so später entstehen, je weiter sie von *b* entfernt liegen, und es muss darum, durch die Interferenz dieser Wellen, eine reflektirte Welle entstehen, deren Gestalt man erhält, wenn man die ganze Fig. 222 um die Linie *ca* dreht. Daraus folgt, dass der Mittelpunkt der entstehenden kugelförmigen Welle eben so weit hinter der reflektirenden Wand liegt, als der wellenerregende Punkt sich vor ihr befindet. Ist *su* parallel mit *ca*, so sieht man, dass der *einfallende Wellenstrahl cu* und der *reflektirte Wellenstrahl uh* mit dem *Neigungsloth su in einer Ebene* liegen müssen, welche zur reflektirenden Wand *senkrecht* ist.

Durch die Umdrehung der Ellipse, Fig. 223, Seite 178, der Parabel, Fig. 224, Seite 178, und des Kreisstückes *mn*, Fig. 226, Seite 179, um die Achse *ab*, entsteht ein Ellipsoïd, Paraboloïd oder eine Sphäre. Die hohle Fläche dieser Körper muss die Luftwellen nach denselben Gesetzen zurückwerfen, welche in §. 164 erklärt wurden; daher kann man z. B. von dem Kugelabschnitt *mn*, Fig. 226, welcher die Gestalt eines Hohlspiegels hat, behaupten, dass alle Wellenstrahlen, welche parallel zur Achse *bc* einfallen, oder alle Wellen, welche zu ihr senkrecht sind, nach der Reflexion von *mn* zu gleicher Zeit in dem Brennpunkt *a* eintreffen, und wenn in dem Brennpunkt *a*, Fig. 225, Seite 179, des Hohlspiegels *mn* eine Luftwelle entsteht, diese von seinen Wänden so zurückgeworfen wird, dass die zurückgeworfene Welle senkrecht zu *ab* ist, und alle Theile derselben, nach der zweiten Zurückwerfung vom Hohlspiegel *op*, zu gleicher Zeit in dem Brennpunkt *b* desselben eintreffen.

§. 172.

Wenn zwischen zwei festen Wänden (Fig. 228, Seite 180) die Luft von *a* aus in schwingende Bewegung versetzt wird, und eine Welle die Zeit 1 braucht, um sich von *a* bis *b* fortzupflanzen, und am Ende dieser

Zeit in *a* eine zweite Welle erregt wird, so begegnen sich diese beiden Wellen, nachdem die erste reflektirt ist. Wenn nun in dem §. 166 statt der Höhe des Berges die grösste Geschwindigkeit der Lufttheilchen nach der einen Richtung, und statt der Tiefe des Thales die grösste Geschwindigkeit derselben nach der andern Richtung gesetzt wird, so kann man daraus auf analoge Art das Ergebniss der Reflexion finden. Da inzwischen bei *elastischen* Flüssigkeiten Alles auf die *Richtung* ankommt, in welcher die Theilchen derselben schwingen, so muss die Bestimmung der dadurch entstehenden *Schwingungsknoten* der Untersuchung der besondern Schwingungsart jeder elastischen Flüssigkeit überlassen bleiben, und wird desshalb am geeigneten Orte vorkommen.

§. 173.

Da naeh der Erfahrung (§. 24) alle Körper innerhalb gewisser Gränzen des Druckes oder des Stosses, welchen sie erleiden, elastisch sind, so können auch in ihnen Wellen von der so eben beschriebenen Art erregt werden. Diese Wellen können sich an den Gränzen solcher Körper der umgebenden Materie mittheilen, oder von ihr wie von einer festen Wand zurückgeworfen werden. Dadurch entstehen in ihrem Innern Schwingungsknoten, Interferenzen und Beugungen, welche auch in der Oberfläche Bewegungen veranlassen. Die Körper können darum auch ihrer Länge nach schwingen. Dadurch entstehen *Längenschwingungen*, von denen man die durch Biegung des Körpers entstandenen Schwingungen durch das Wort *Transversal*-Schwingungen unterscheidet. Auch können *drehende* Schwingungen nach §. 157 hervorgebracht werden, indem man runde Körper in einen Schraubstock einspannt und in drehender Bewegung mit einem Bogen streicht.

Längenschwingungen erzeugt man z. B. in einer 4 bis 5 Fuss langen und 3 bis 5 Linien weiten Glasröhre, indem man sie in der Mitte anfasst und am obern Ende mit einem nassen Tuchlappen der Länge nach reibt. Steckt man in das untere Ende einen genau passenden Korkpfropfen, so steigt dieser nach und nach bis zum nächsten Schwingungsknoten in die Höhe, und kann selbst eine darüber befindliche Wassersäule heben.

§. 174.

In festen und sehr elastischen Körpern werden die Schwingungen stärker reflektirt, wenn sie an den Gränzen derselben angekommen sind, als in flüssigen Körpern; darum entstehen leichter Schwingungsknoten in ihnen. Diess ist auch der Grund, warum in festen, elastischen Körpern die Schwingungen nach ihrer Erregung noch fortdauern, während sie in flüssigen oder weniger elastischen Körpern bald oder sogleich aufhören.

Da sich, nach dem Frühern, durch Reflexion nur dann Schwingungsknoten bilden können, wenn die Länge einer Welle irgend ein Theil des Raumes ist, zwischen dem sie sich hin- und herbewegt, so muss auch, um in einem fortschwingenden Körper jene Schwingungsknoten zu erzeugen, die erregte Welle irgend ein Theil der Längenausdehnung sein, nach welcher sie erregt worden ist. Später erregte Wellen können auch ungleiche Längen haben, sie werden durch die bereits gebildeten regelmässigen Wellen ebenfalls von gleicher Länge mit jenen.

Von der Fortdauer dieser Schwingungen in festen, elastischen

Körpern geben schon viele der frühern Versuche den Beweis. In wenig elastischen Flüssigkeiten, wie Oel u. dgl., pflanzen sich nur grössere Schwingungen fort, und wenn ihre Elastizität durch die Wärme vermehrt worden ist, auch kleinere. Körper von sehr unregelmässiger Gestalt schwingen nicht fort, weil sich in ihnen keine regelmässigen Schwingungsknoten bilden können, wie z. B. in einem Glasklumpen u. dgl.

§. 175.

Je stärker der Stoss ist, welcher auf einen elastischen Körper wirkt, desto grösser ist auch die Bahn, welche jedes schwingende Theilchen durchläuft, und desto grösser ist auch seine Geschwindigkeit in derselben. Daraus folgt aber nicht, dass desshalb auch die *Fortpflanzung der Wellen* schneller geschieht. Diese erfolgt vielmehr in demselben Gas und bei der nämlichen Temperatur *für grosse und kleine Wellen mit gleicher Geschwindigkeit,* wenn sie in ihrer Entstehung sich ähnlich sind, wie man durch die Erfahrung und Theorie nachweisen kann. Zum Beweis dient die gleichzeitige Ankunft aller Töne einer entfernten Musik; obgleich die Schwingungen der tiefen Töne langsamer als die der hohen Töne sind. Ist dagegen ein Schall durch heftige Erschütterung erzeugt, wie der Knall einer Kanone, so soll er nach den Versuchen, die *Parry* in den Polargegenden angestellt hat, schneller fortgehen als der einer menschlichen Stimme.

Die Wellen selbst sind in spezifisch elastischeren Flüssigkeiten kleiner als in andern, und verbreiten sich in ihnen, wie in festen Körpern, mit verschiedener Geschwindigkeit, Diese erfährt man am besten durch den Schall und das Licht; daher wird dort von der Geschwindigkeit die Rede sein.

§ 176.

Die Kraft, welche in dem elastischen Mittel die von einem Punkte desselben ausgehenden Schwingungen veranlasst, muss in einer 2-, 3-, 4fachen Entfernung, auf eine 4-, 9-, 16mal grössere Kugelfläche wirken. Die Wirkungen gleichgrosser Theile der verschiedenen Kugelflächen müssen daher mit der Grösse dieser Flächen im umgekehrten Verhältniss stehen, wie im §. 16, *oder die Wirkungen der Schwingungen elastischer Flüssigkeiten stehen im umgekehrten Verhältnisse mit dem Quadrate der Entfernung vom Mittelpunkte der Vibration.*

Dieses Gesetz gilt jedoch nur für den Fall, dass sich die Schwingungen von dem Vibrations-Mittelpunkte aus nach allen Seiten verbreiten können, und nicht für die Fortpflanzung derselben in einer Röhre, in welcher die an den Wänden reflektirten Schwingungen die Wirkung der andern verstärken.

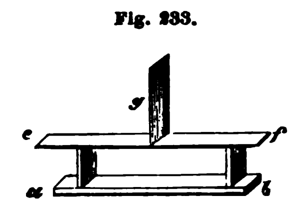
Bezeichnet man die Geschwindigkeit der schwingenden Lufttheilchen in der Entfernung r von dem die Schwingungen erregenden Punkte durch c und in der Entfernung R durch C, und ist m die Masse der ersten Kugelschaale und M die der zweiten, so ist die Wirkungsfähigkeit der ersten $= mc^2$, und die der zweiten $= MC^2$. Da aber die erste ihre Wirkungsfähigkeit nur auf die andern überträgt, so ist $mc^2 = MC^2$ oder $m : M = C^2 : c^2$. Da aber auch $m : M = r^2 : R^2$, so ist $r^2 : R^2 = C^2 : c^2$ oder $r : R = C : c$. Die Oscillations-Geschwindigkeiten verhalten sich also umgekehrt wie die Entfernungen. Für gleichgrosse, von ihnen getroffene Flächen sind *in verschiedenen Entfernungen* die Massen gleich, also die

Wirkungen dem Quadrat der Geschwindigkeiten proportional, und stehen daher im umgekehrten Verhältniss mit den Quadraten der Entfernungen. Die Geschwindigkeit der Schwingungen wächst nach §. 76 und 168 mit der Amplitude; *daher wächst auch die Intensität ihrer Wirkung mit dem Quadrat der Amplitude.*

§. 177.

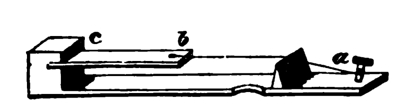
Feste Körper können durch Berührung mit festen, tropfbar- oder elastisch-flüssigen Körpern auch diesen ihre schwingende Bewegung mittheilen. Ebenso theilt eine schwingende Flüssigkeit einem festen Körper um so mehr von ihrer schwingenden Bewegung mit, je dichter und je elastischer sie ist. Wenn man darum einen dünnen Glasstab senkrecht auf eine Glasscheibe oder eine Latte setzt, die in ihren Schwingungsknoten unterstützt ist, und man bringt ihn durch das Reiben mit nassen Fingern oder einem nassen Lappen in schwingende Bewegung, so entstehen auch Schwingungen in der Glasscheibe, welche man durch aufgestreuten Sand sichtbar machen kann. Verbindet man zwei parallele kreisrunde Scheiben durch einen senkrecht in ihrer Mitte anzukittenden Glasstab, so entsteht in der einen dieselbe Figur, welche in der andern durch Streichen mit einem Violinbogen erregt wird. Solche Figuren heissen *Resonanzfiguren*, zur Unterscheidung von den Klangfiguren. *Savart* hat durch den Versuch bewiesen, dass, wenn zwei festverbundene Körper senkrecht zu einander sind, die Längenschwingungen des einen transversale Schwingungen im andern erzeugen, und umgekehrt. In das hölzerne Lineal ab, Fig. 233, sind zwei Glasstreifen c und d eingelassen, und auf diese ist ein längerer Glasstreifen ef so gekittet, dass seine Schwingungsknoten die Glasstreifen c und d berühren. Senkrecht zu der Mitte von diesem ist der Glasstreifen g festgekittet. Hält man diesen Apparat so, dass g horizontal wird, und versetzt man ef bei e durch einen Violinbogen in Transversalschwingungen, so entstehen auf g Längenschwingungen, die sich durch Knotenlinien abtheilen. Kehrt man den Apparat um, so dass die andere Fläche von g horizontal wird, so entstehen dieselben Schwingungen, nur wird die Lage der Knotenlinien entgegengesetzt. Wird dagegen g mit einem wollenen Läppchen der Länge nach gestrichen, so entstehen auf ef Transversalschwingungen.

Fig. 233.



Bringt man gleichgrosse Glasplatten in einerlei Ebene in Berührung, und erregt Schwingungen in der einen, so entstehen bald gleiche, bald verschiedene Figuren in der andern. Wenn die Glasscheiben ungleich sind, so bilden sich durch die Mittheilung sogar Resonanzfiguren, welche in einer Scheibe allein nicht hervorgebracht werden können. *Savart* hat ferner gefunden, dass, wenn man eine Saite ab, Fig. 234, an einem Glasstreifen bc befestigt, und nachdem man beide an ihren Enden gespannt hat, die erstere durch einen Violinbogen in schwingende Bewegung versetzt, die Richtung, nach welcher die Saite schwingt, mit derjenigen zusammenfällt, welche der

Fig. 234.



Sand, den man auf die Glasscheibe gestreut hat, durch seine Bewegung andeutet. Dieser Versuch beweist, dass die mitgetheilten Schwingungen auch den ursprünglichen Schwingungen parallel sein können.

§. 178.

Ein fester Körper kann in jeder Flüssigkeit schwingen, und diese, wenn ihre Theilchen den nöthigen Elastizitäts-Grad besitzen, in schwingende Bewegung versetzen, wie man sieht, wenn man eine angeschlagene Stimmgabel in Wasser, Oel oder Quecksilber bringt. Bestreut man sie oder eine Glasplatte unter Wasser mit Sand oder Eisenfeile, so gruppiren sich diese, zum Beweise, dass Schwingungen stattfinden.

Wenn man eine Glasscheibe mit Harz oder dergl. auf eine mit ihren Schwingungsknoten unterstützte Latte befestigt und diese durch einen dazu senkrechten geriebenen Glasstab in schwingende Bewegung versetzt, so schwingt auch die Glasplatte. Bedeckt man sie mit Wasser, Staub von Bärlappsamen oder dergleichen, so bilden sich regelmässig geordnete Hügelchen, so lange die Schwingung fortdauert. Nach *Faraday's* Versuchen rühren diese nicht von einer Unterabtheilung des schwingenden Körpers, sondern von Strömen her, die sich in dem flüssigen Körper an der Oberfläche bilden müssen.

V. Abschnitt.

Vom Schalle.

§. 179.

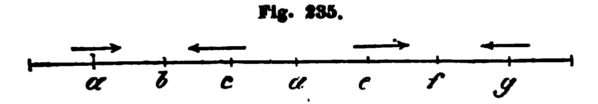
Die Wahrnehmung von Schwingungen in der Luft oder in festen Körpern durch den Gehörsinn nennen wir *Schall.* Da in den meisten Fällen die Schwingungen der Luft die Vorstellung vom Schalle veranlassen, und der Erfahrung gemäss die Luft ihn am reinsten und nach allen seinen Verschiedenheiten fortpflanzt, so wird hier auch vorzugsweise von der Mittheilung durch diese die Rede sein. Indem man unter Schall im weitern Sinne verschiedene Arten von Schwingungen versteht, so muss mit der einfachsten Art der Anfang gemacht werden.

Wenn *c* (Fig. 229, Seite 181) der Mittelpunkt einer Kugel ist, welche sich plötzlich ausdehnt und wieder zusammenzieht, nachher aber in Ruhe bleibt, so muss auf die im §. 168 angegebene Art rings um sie eine kugelförmige Welle entstehen. Von den Schwingungen der Lufttheilchen aber wirken auf unser Gehör nur diejenigen als Schall, welche zur Oberfläche der Kugel senkrecht sind, also die Längenschwingungen oder die mit dem Wellenstrahl in paralleler Richtung hin und her gehenden Bewegungen. Beim Platzen einer Petarde z. B. folgt der ersten Erschütterung der Luft keine *zweite* nach. Ein solcher Schall heisst

einfach, und wenn er, wie hier, stark genug ist, ein *Knall;* der pendelartige Hin- und Hergang des Lufttheilchens heisst *eine Schwingung*, bei Andern eine Doppelschwingung. Nach einem einfachen Schall kehrt jedes Lufttheilchen, nachdem es eine Schwingung gemacht hat, in den Zustand der Ruhe zurück.

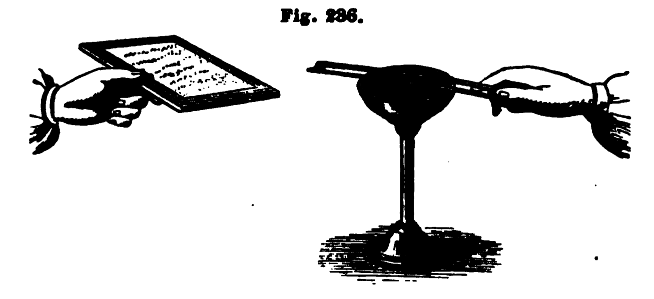
Stellt nun Fig. 235 *bf* die Länge einer Luftwelle vor, und haben die Lufttheilchen in *e* die grösste Geschwindigkeit vorwärts, so haben die in *c* und *g* die grösste Geschwindigkeit rückwärts. Die Luft in *f* muss also in diesem Augenblick verdichtet und die in *d* verdünnt werden. Eine Luftwelle besteht daher aus einer *Verdichtungs-* und einer *Verdünnungs-Welle.*

Fig. 235.



Zur Beobachtung der Luftschwingungen dient am besten eine über einen Holzrahmen gespannte feine Membrane, wie in Fig. 236. Sind die Schwingungen vertikal,

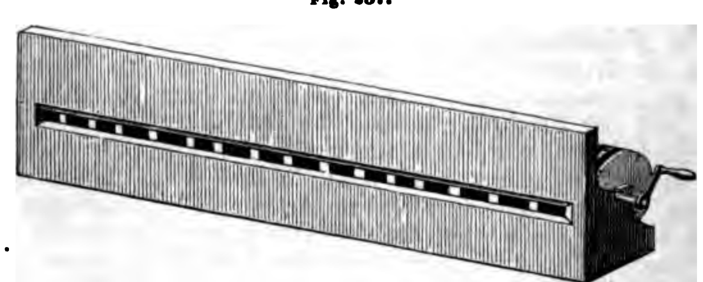
Fig. 236.



so bestreut man die Membrane mit körnigem Sand, der alsdann zu hüpfen beginnt. Bei horizontalen Schwingungen hängt man kleine Kügelchen von Siegellak mittelst Coconfäden vor dieselbe und bringt die Membrane in lothrechte Lage.

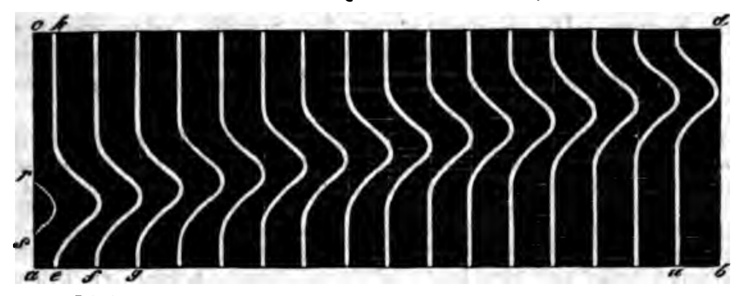
Die Bewegungen der Lufttheilchen beim einfachen Schall kann man durch den von *Wheatstone* angegebenen Apparat, Fig. 237, anschaulich machen. Er besteht

Fig. 237.



aus einem hölzernen, etwa 1 M. langen Kasten, der schwarz angestrichen ist, und aus einer Walze von fast gleicher Länge, die etwa 0,1 M. Durchmesser hat. Diese Walze kann mittelst einer Kurbel gedreht werden. Parallel mit ihren Achsen und in gleicher Höhe ist an der vordern Seite des Kästchens ein Spalt von 1 Centimeter Breite angebracht. Durch diesen sieht man auf die dicht dahinter befindliche Walze. Ueber die Walze wird eine Zeichnung, wie Fig. 238, geschoben, nachdem man diese cylindrisch gebogen und die Seite *ab* an *cd* geklebt hat. Die Seite *ac* muss gleich dem Umfang der Walze sein. Die Linie *eu* stellt die Länge einer Schallwelle vor.

Fig. 238.



krumme Linie *rs* die Gestalt, welche ein schallender Körper während seiner
isten Excursionsweite hat. Auf der Linie *ab* stellen die weissen Striche *e*, *f*, *g*
. w. 16 Lufttheilchen vor, die vor dem Entstehen des Schalls gleichen Abstand
einander haben. Die Zeit, in welcher die Walze einmal umgedreht wird, sei
pelt so gross, als die Schwingungszeit der Lufttheilchen, und werde durch die
ie *ac* vorgestellt. Theilt man diese Zeit oder *ac* durch Linien, die mit *ab* parallel
, in 32 gleiche Theile, und nimmt man wie in Fig. 191, Seite 160, an, *dp* sei
grösste Excursionsweite der einzelnen Lufttheilchen, so ist nach §. 76 *d1* die
ursionsweite nach $^1/_8$ der Schwingungszeit, *dc* nach $^2/_8$, *d3* nach $^3/_8$, *dp* nach $^4/_8$,
nach $^5/_8$ u. s. w. Trägt man diese Weiten von der Linie *ek*, Fig. 238, an rechts
die 2te, 4te, 6te ... dem *ab* parallele Linie und verbindet man die einzelnen
ikte mit einander, so erhält man die Kurve, welche die Bewegung eines Luft-
lchens vorstellt. Weil das Theilchen *f* um $^1/_{16}$ später zu schwingen anfängt
e, so fängt dieselbe Kurve über ihm erst in der Höhe der ersten Parallelinie an.
demselben Grunde fängt die dritte Kurve erst auf der zweiten mit *ab* paral-
n Linie an u. s. w. Durch den Schlitz in Fig. 237 sieht man von diesen Kurven
einen sehr kleinen Theil als weissen Fleck, welcher nach den Pendelgesetzen
und her schwingt, sobald man die Walze dreht. Zuerst fängt *e* an, etwas spä-
f u. s. w., und wenn *e* wieder zur Ruhe kommt, fängt *u* gerade an.

Wenn man in ein Kartenblatt einen schmalen Spalt von der Länge *ab* schnei-
und dieses auf die Fig. 238 legt und parallel mit *ab* in der Richtung *ac* hin-
schiebt, so kann man in dieser, wie in den folgenden ähnlichen Zeichnungen die
regungen der Lufttheilchen sehen.

§. 180.

Bei der grossen Verschiedenheit der Körper in ihrer Grösse und
:hte und in der Anordnung ihrer Massentheilchen muss der Erfolg
es Stosses auf die Luft nothwendig auch dann noch verschieden sein,
ın die Lufttheilchen auch gleichzeitig erschüttert werden. Denn
nche Körper, wie nach §. 152 und 156 die Saiten und Metallschei-
ı, schwingen mit Unterabtheilungen, andere nicht. Dadurch entstehen
ıen dem Hauptton bald andere Töne, die *Obertöne* heissen, bald nicht.
aber diese Schwingungen dennoch mit *gleicher Geschwindigkeit fort-
flanst* werden, so kommen sie zu gleicher Zeit mit den übrigen zum
hörsinn, und erzeugen, wenn sie nur von *einem* Stosse des Körpers
rühren, dasjenige, was man *einen Schall im engern Sinne* nennt. Die-
Schall ist also eine Summe von einfachen Schallen, welche in einer
ır kurzen Zeit einen Stoss auf den Gehörsinn bewirken. Bei einem
hr elastischen und dichteren Körper ist die Ausweichung seiner
ıwingenden Theile nach der Richtung, in welcher sie sich bewegen,
inger, als bei einem weniger dichten Körper. Die ihn umgebenden
ftheilchen werden auch gleichzeitiger von ihm zurückgestossen, und
verdünnte Raum, welchen er bei seiner Zusammenziehung zurück-

lässt, ist schmaler, aber vollkommener verdünnt als bei einem weniger dichten Körper. Die Fortpflanzung des Schalls, oder wie man auch sagen kann, die Form der entstehenden Welle wird dadurch modificirt. Diese Verschiedenheit macht mit der vorhin erwähnten die *Qualität* oder den Timbre des Schalles aus.

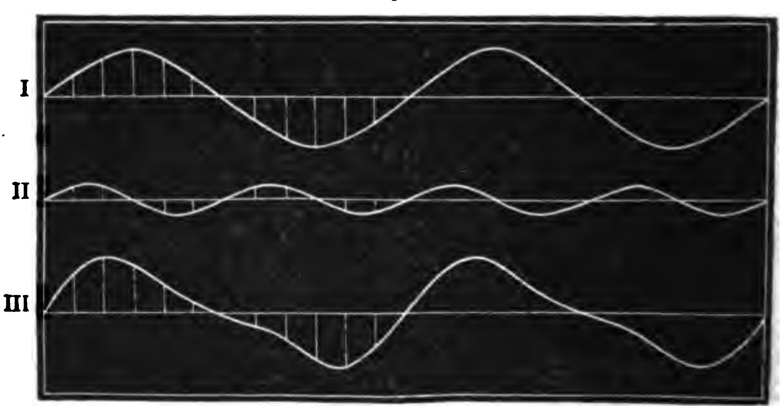
Die Quellen des Schalls sind sehr manchfaltig, und daher auch die Qualitäten desselben. Saiten, Stäbe und Stimmgabeln erzeugen ihn durch abwechselnde Verdichtung und Verdünnung der Luft und durch das Mitschwingen der mit ihnen in Berührung stehenden Körper. Das Anzünden von Knallgas und das Oeffnen eines dichtschliessenden Federrohrs erzeugt ihn dadurch, dass ein luftverdünnter Raum gebildet wird, welchen die elastische Luft schnell wieder auszufüllen strebt, wobei ihre Theilchen heftig sich nach Innen bewegen. Manche Körper, wie Blei und Gold sind nicht elastisch genug, um die Luft in lebhafte Schwingungen zu versetzen, und ihr Ton ist daher höchstens dumpf und klanglos; doch theilen sie andern festen Körpern ihre Schwingungen mit.

§. 181.

Wenn mehrere Schalle hinter einander erfolgen, so kann sie das Ohr bald nicht mehr einzeln unterscheiden. Folgen sie in ungleichen Zeiten auf einander, oder sind sie aus ungleichartigen Schwingungen zusammengesetzt, so ist eine grosse Manchfaltigkeit derselben möglich, wofür die Sprache eine Menge Wörter hat, als: Rasseln, Sausen, Lärm, Brausen u. s. w. Den Uebergang von den regelmässig auf einander folgenden Schallen, die man noch einzeln unterscheiden kann, zu denen, welche durch ihre Schnelligkeit ein Ganzes bilden, macht das *Rauschen*. Eine Folge regelmässig auf einander folgender Schalle, die als ein Ganzes aufgefasst wird, heisst ein *Ton*. Die *Qualität des Tones* hängt von der Qualität der einzelnen Schalle ab, die *Quantität* von der *Anzahl* derselben. Ein Ton heisst *hoch* oder *tief*, wenn die Anzahl der einzelnen Schalle gross oder klein ist. Töne, welche angenehm zusammenklingen, heissen *consonirend*; im entgegengesetzten Falle *dissonirend*.

Um die Qualität zweier der Schwingungszeit nach gleicher Töne zu unterscheiden, denke man sich, der eine sei der ganz reine Ton einer Sirene, der andere entstehe durch eine Saite, bei welcher ausser diesem Tone noch ein Ton von halb so langen Wellen schwach mitklingt, so ist die Form der Welle im ersten Fall nach §. 150 eine einfache Sinuscurve, wie Fig. 239 I. Im zweiten Fall aber ist sie die durch Summirung der beiden Sinuscurven, Fig. 239 I u. II, entstehende resultirende

Fig. 239.

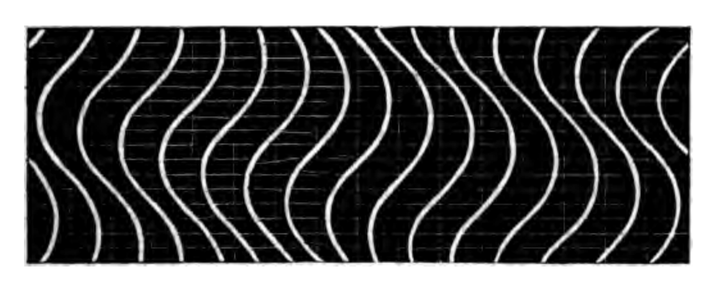


Welle III. Die Wirkung der Welle I auf das Gehör muss wegen der regelmässigen Zu- und Abnahme der Geschwindigkeit der schwingenden Lufttheilchen nothwendig eine andere sein, als die der Welle III, bei welcher die Aenderung der Geschwindigkeit weniger gleichförmig ist. Nun schwingt eine Sirene ohne Unterabtheilungen, eine Saite, Glocke und viele andere Instrumente aber geben ausser dem Hauptton oft noch einen oder mehrere solche *Nebentöne* oder *Obertöne*, und modificiren den Hauptton. Darauf beruht nach *Helmholtz* hauptsächlich der Unterschied in der Qualität der Töne oder die Klangfarbe. *Klang* ist darum dasjenige, wodurch man den gleichhohen und gleichstarken Ton zweier verschiedener Instrumente, z. B. einer Flöte und einer Violine, unterscheidet.

Auch die Schwingungen der Luft bei einem anhaltenden vollkommen reinen Ton lassen sich durch den Apparat (Fig. 237) versinnlichen, wenn man die Walze mit der Zeichnung Fig. 240 bedeckt. In dieser sind die krummen Linien auf die-



Fig. 240.



selbe Art construirt, wie in Fig. 238. Die Umdrehungszeit der Walze ist aber gleich der einfachen und nicht wie in Fig. 238 gleich der doppelten Schwingungszeit angenommen. Die Höhe ist desshalb nur in 16 Theile getheilt, weil beim anhaltenden Ton die einzelnen Lufttheilchen nur momentan zur Ruhe kommen. Die Gleichgewichtslage jedes Lufttheilchens fällt hier in die Mitte zwischen die äussersten Ausbiegungen der Curve, und nicht wie früher an die Stelle, wo die Bewegung anfing. Die zweite Curve fängt aber wie früher an einer um $^1/_{16}$ höhern, die dritte an der nächsthöhern Stelle an u. s. w. Der untere Theil einer jeden Curve ist darum nur eine Fortsetzung des obern.

§. 182.

Jede gerade Linie, welche zur Oberfläche einer Schallwelle senkrecht ist, heisst ein *Schallstrahl*, und gibt darum in den meisten Fällen die Richtung an, in welcher der Schall entstanden ist. Wir denken uns desshalb den schallenden Körper immer in *der* Richtung, in welcher unser Gehör von den Schallstrahlen am stärksten getroffen wird.

Dieselbe Art der Fortpflanzung des Schalls findet statt in festen Körpern und tropfbaren Flüssigkeiten, so wie in Gasen und Dünsten, und ist zugleich in vielen Fällen eine Bestätigung der Gesetze von den Schwingungen. Als Beweise davon kann man ansehen: das Hören unter dem Wasser, die Wahrnehmung des Ganges einer Taschenuhr durch einen langen Stab, des Donners der Kanonen durch die Erde, und des Schalls einer Glocke im luftleeren Raume, wenn in diesen Gase oder Dünste geleitet werden.

§. 183.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Schall in der Luft fortgepflanzt wird, ist nach der Erfahrung und nach der Theorie gleichförmig. Letztere zeigt ferner, dass das Quadrat der Geschwindigkeit der

Expansivkraft des elastischen Mittels direct, und seiner Dichte umgekehrt proportional ist; woraus folgt, dass sie für dasselbe Gas sich bei jeder Dichte gleich bleibt, so lange die Temperatur sich nicht ändert. Denn wird die Dichte z. B. 4mal grösser, so wird es auch die Expansivkraft, und der Quotient aus beiden bleibt darum ungeändert.

Man hat die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft dadurch gefunden, dass man an zwei von einander entfernten Orten Kanonen abfeuerte, und die Zeit mass, welche der Schall brauchte, um den vorher gemessenen Zwischenraum zu durchlaufen. Aus den im Jahre 1823 angestellten Versuchen von *Moll* ergab sich, dass bei trockener nicht bewegter Luft und bei 0° Wärme der Schall in 1 Sekunde 332,147 Meter oder 1022,5 Par. Fuss zurücklegt. Für jede andere Temperatur von t Centesimalgraden findet man die Geschwindigkeit des Schalls durch die Formel:

$$V = 332{,}147 \sqrt{(1 + 0{,}003665\, t)} \text{ Meter.}$$

Wegen der vielfachen Theilbarkeit der Zahl 1024 wird in der Folge gewöhnlich diese Zahl für die Anzahl der Fusse angenommen, welche der Schall in 1 Sekunde zurücklegt.

Da der Schall successiv von dem schallenden Körper aus fortgepflanzt wird, und bei jedem Hin- und Hergang desselben eine Schallwelle entsteht, so müssen, wenn der Körper in 1 Sekunde 1024 Schwingungen macht, auch eben so viele Schallwellen in der Luft sich bilden; und da jede Schallwelle nach §. 168 in derselben Zeit sich bildet, in welcher der Schall durch eine ihr gleiche Länge fortgepflanzt wird, so muss die Länge jeder Welle 1 Fuss betragen. Entstehen aber in 1 Sekunde 512 Schallwellen, so ist die Länge einer jeden $\frac{1024}{512}$ oder 2 Fuss. *Um also die Länge einer Schallwelle zu finden, muss man 1024 Pariser Fuss durch die Anzahl der in 1 Sekunde successiv entstehenden Schwingungen dividiren.* Da nun, wie in der Folge gezeigt werden wird, der tiefste Ton, welchen man durch eine 32 Fuss lange Orgelpfeife hervorbringt, durch 16 Schwingungen in 1 Sekunde entsteht, so muss die Länge einer solchen Schallwelle $\frac{1024}{16}$ oder 64 Fuss betragen.

Zur Bestätigung des Gesetzes, dass mit der Dichte der Luft die Geschwindigkeit des Schalls sich nicht ändert, wenn die Temperatur dieselbe bleibt, dienen die Versuche von *Stampfer* und *Myrbach*, welche in 4200 Fuss Höhe angestellt wurden, und kein anderes Resultat gaben. *Goldlingham's* in Madras angestellte Versuche beweisen dagegen, dass feuchte Luft die Geschwindigkeit des Schalls beschleunigt.

La Place hat für die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des Schalls in Gasen und Dämpfen folgende Formel theoretisch abgeleitet:

$$c = \sqrt{\frac{gh}{d} \cdot k}$$

wo g = 9,81 Meter, h die Höhe der Quecksilbersäule, in demselben Maass ausgedrückt, welche dem Gasdruck bei 0° das Gleichgewicht hält, d die Dichte des Gases im Verhältniss zum Quecksilber, und k das Verhältniss der Wärmecapacität des Gases bei constantem Druck zur Wärmecapacität bei constantem Volumen ist. Diese Formel stimmt sehr gut mit der Erfahrung überein.

§. 184.

Die Stärke oder Intensität des Schalles wächst nach §. 176 mit dem Quadrat der Geschwindigkeit, welche die Lufttheilchen in dem

Augenblicke haben, wo ihre schwingende Bewegung am grössten ist, also auch mit dem Quadrat der Amplitude. Eine Saite gibt darum bei kräftigerem Anschlag einen stärkeren, nicht einen höheren Ton, und das wahre Maass für die Intensität des Schalls wäre das Produkt aus der unser Gehör treffenden Luftmasse in das Quadrat ihrer Oscillations-Geschwindigkeit. Diese Intensität nimmt aus den im §. 176 angegebenen Ursachen *im Verhältnisse des Quadrates der Entfernung ab.* In einem dichteren Mittel ist er intensiver, weil die in Bewegung gesetzte Masse grösser ist. Doch soll nach *Volpicelli* die Intensität des Schalls nur bis zur achtfachen Verdichtung der Luft zu- und bei noch grösserer wieder abnehmen. Geht der Schall aus einem dichteren in ein dünneres Mittel über, so wird er schwächer, weil nach dem Frühern ein Theil der Schwingungen reflectirt wird. Noch mehr wird er aber geschwächt, wenn er aus einem dünnern Mittel in ein dichteres übergeht. Auch verbreitet er sich leichter in die Höhe als nach der Tiefe, weil seine Intensität von der Dichte derjenigen Luftschichte abhängt, in welcher er entsteht. Aus demselben Grunde hört man leichter aus dem Wasser kommende Töne in der Luft, als Töne, die in der Luft erzeugt werden, im Wasser. Die Intensität ist ausserdem um so grösser, je grösser die schwingende Oberfläche ist und je reiner die Töne sind.

Die Ursache, warum man bei Nacht den Schall weiter hört als bei Tag, mag zum Theil von dem Aufhören des Tageslärmes, und daher rühren, dass, wenn der Sinn des Gesichtes ruht, der des Gehörs um so schärfer ist. Da jedoch auch in stillen und öden Gegenden nach *Alex. v. Humboldt's* Beobachtungen dieser Unterschied sehr auffallend ist, so rührt er ohne Zweifel zum grössern Theil daher, dass bei Tage fortwährend warme Luftströme von der Erde aufsteigen und kalte niedersinken, die Luft also sehr ungleichförmig erwärmt ist, bei jedem Uebergang von einer dünnern in eine dichtere Luftschichte aber der Schall geschwächt wird. Ebenso erklärt sich aus dem Vorhergehenden, warum auf hohen Bergen oder in sehr leichten Gasen, wie Wasserstoffgas, der Schall so schwach ist, und warum man eine entfernte Erschütterung besser durch den festen Boden oder durch Wasser, als durch die Luft wahrnimmt; warum kalte Luft den Schall stärker fortpflanzt als warme u. s. w.

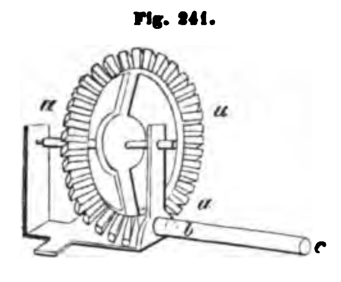
Um also den Schall zu schwächen, muss man ihn öfter von einem dichteren Mittel in ein dünneres leiten, daher doppelte Thüren und Mauern, besonders wenn der Zwischenraum mit Hobelspänen oder andern Körpern ausgefüllt ist, ihn mehr schwächen als einfache.

Die grössten Entfernungen, bis zu welchen man einige der auffallendsten Erschütterungen hört, sind in folgenden Beispielen angegehen: Die Explosion des Vulkans auf St. Vincent hörte man bis Demerary, also 300 englische Meilen weit; einen Kanonenschuss hört man auf 21 bis 22 deutsche Meilen; einen Flintenschuss auf 8000 Schritte; eine Escadron Cavallerie oder schweres Geschütz im Trab bis auf 2400 Fuss, und eine starke Männerstimme auf 800 Fuss. Längs der Oberfläche des Wassers und langer Mauern wird der Schall stärker fortgepflanzt, als über einen ebenen Boden.

§. 185.

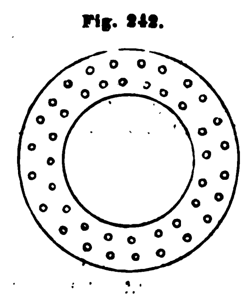
Wenn man eine Scheibe *aaa*, Fig. 241, an deren Umfange in regelmässigen Abständen Oeffnungen angebracht sind, dreht, und bei *c* Luft in das Rohr *bc* einbläst, welche nur durch die Oeffnungen der

Fig. 241.



Scheibe entweichen kann, und also so lange verdichtet bleibt, bis eine Oeffnung mit dem Rohre in gerader Richtung sich befindet, so hört man bei einer langsamen Drehung entweder gar nichts oder ein Rauschen, bei einer schnellern einen Ton. Je schneller man dreht, desto höher ist der Ton. Sind die Einschnitte schief zur Achse der Scheibe, so bewirkt der Luftstoss selbst die Umdrehung derselben, und letztere kann man darum durch stärkeres Einblasen beliebig beschleunigen. Wenn dieses Instrument mit einem Mechanismus versehen ist, welcher die Anzahl der Umdrehungen in einer Sekunde angibt, so findet man, dass ein Ton erst entsteht, wenn ohngefähr 16 Oeffnungen in einer Sekunde an dem Rohre vorübergegangen, oder 16 sogenannte Doppelschwingungen, d. h. Luftwellen entstanden sind, und dass (nach *Savart*) erst bei 24000 Schwingungen in einer Sekunde kein Ton mehr, sondern nur ein Zischen gehört wird. Doch kann nach ihm bei 48000 gehörig starken Schwingungen noch eine Art Schall wahrgenommen werden. Bei dem Klavier gehen die Töne nur von 32 Schwingungen bis zu 4224. Die Orgel fängt mit 16 oder 16 $^1/_2$ Schwingungen an. Auf dem Obigen beruht *Cagniard-Latour's Sirene.* Man sieht, dass bei ihr der Ton entsteht, indem der Strom der elastischen Flüssigkeit im schnellen und regelmässigen Wechsel unterbrochen wird. Die Anzahl der Stösse einer Sirene ist immer der Anzahl der Doppelschwingungen einer Saite gleich, wenn sie den nämlichen Ton angibt. Ein elastischer Stab, welcher an einem Ende eingeschraubt wird, und die gehörige Länge hat, kann so langsam schwingen, dass er keinen Ton gibt, und dass man die einzelnen Schwingungen zählen kann. Verkürzt man ihn, bis er den tiefsten Ton, der möglich ist, gibt, und berechnet alsdann die Anzahl seiner *ganzen* Schwingungen, so findet man diese ebenfalls ohngefähr der Zahl 16 gleich. Dasselbe bemerkt man, wenn man, wie *Savart*, einen Stab oder eine Uhrfeder an die Speichen eines Rades anhält, und dieses immer schneller umdreht, oder wenn man eine Saite durch Verkürzung und Spannung zum Tönen bringt. Selbst bei einem Pendel, welches zwischen zwei Säulen rasch oscillirt und an diese anschlägt, entspricht der entstehende Ton nur dann dem einer Sirene, wenn zwei Schläge des Pendels auf einen Luftstoss der Sirene kommen, weil die Impulse von entgegengesetzter Seite erfolgen. Zu vielen Versuchen ist die Abänderung, welche *Seebeck* an der Sirene angebracht hat, sehr zweckmässig. Er befestigt an einer schweren Scheibe aus Blei und Holz von 7 Zoll Durchmesser dünne Scheiben von Pappe, welche 12 Zoll Durchmesser haben, und in welche, wie in Fig. 242, mehrere Löcherreihen nach einer genauen Kreistheilung eingeschlagen sind. Diese Scheibe wird durch irgend einen Mechanismus in eine gleichförmige Drehung versetzt, und der Ton entweder dadurch hervorgebracht, dass man mit einem Glasröhrchen, dessen Mündung etwas enger als die Löcher, einen

Fig. 242.



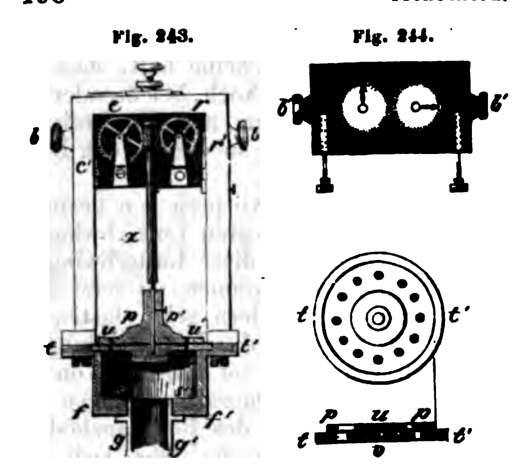
Luftstrom gegen die Löcherreihe bläst, oder dadurch, dass man eine aus Kartenblatt geschnittene Spitze so gegen die Scheibe hält, dass sie beim Umdrehen in die Löcher einschlagen muss. Noch belehrender ist die *Opelt*'sche Sirene von *J. Lange* in Berlin, indem auf der kreisförmigen Scheibe Löcherreihen für die ganze Tonleiter, so wie für den Dreiklang und andere Accorde eingeschlagen sind.

Da eine Saite oder Stimmgabel, welche an Körpern von geringer Elastizität befestigt ist, vermöge der durch sie erregten Luftschwingungen nur einen schwachen Ton erzeugen kann, und diese Luftschwingungen auch nicht nach allen Seiten gleichstark sein können, so setzt man sie gewöhnlich in eine solche Verbindung mit andern sehr elastischen Körpern (dem Resonanzboden), dass diese leicht durch Mittheilung in Schwingung gerathen, und einen verhältnissmässig viel stärkern Ton als die Saite hervorbringen. Darum kann man die Querschwingungen der Saite auch nur *tonerregend*, und die Schwingungen des Resonanzbodens oder seiner Massentheilchen *tönend* nennen. Dennoch bildet sich aus der Anzahl der Querschwingungen der Saite die Quantität des Tones, indem die Schwingungszahl der Massentheilchen abhängig von jener ist. Der tönende Körper ist hauptsächlich der, an welchem die Saite befestigt ist; aber auch die Massentheilchen der Saite sind tönend, indem sie durch die Querschwingung des Ganzen der Länge nach in Schwingungen gerathen. Ihr Ton allein aber ist sehr schwach, weil die Masse derselben gering ist, und diese in genauem Verhältnisse mit der Stärke des Tones steht. Aus dem Obigen erklärt sich die verschiedene Stärke des Tones einer Stimmgabel auf Holz, Marmor u. dgl.; die Wirkung der Resonanzböden, die Zweckmässigkeit in der Einrichtung des Orchesters mancher italienischer Theater, deren Boden selbst ein Resonanzboden ist u. dgl. m. Indem die Sirene keine Nebentöne hervorbringt, ist ihr Ton vorzüglich rein. *Dove* hat die Scheibe der Sirene nach dem Verhältniss von 4, 5, 6, 8 mit Löchern versehen, die zugleich oder paarweise angeblasen werden können und dadurch ganz reine Accorde erhalten.

Wenn die einzelnen Schläge, welche den Ton erzeugen, sehr stark sind, so dass sie einen länger anhaltenden Eindruck im Ohr hervorbringen, wie z. B. wenn man an einer Drehbank einen zur Achse senkrechten Stab zwischen zwei Brettern durchschlagen lässt, die ihm gerade den nöthigen Zwischenraum gestatten, so sollen nach *Savart* schon 8 bis 10 Schläge hinreichen, um einen sehr starken Ton zu erzeugen. In der That ist diess aber kein Ton mehr.

Die Vorrichtung, welche *Cagniard la Tour* an der Sirene, Fig. 243, angebracht hat, um die Schwingungen zu zählen, ist folgende: das Rohr gg' leitet die comprimirte Luft aus einem Windkasten in eine cylindrische Büchse von 2 bis 3 Zoll Durchmesser. Diese ist oben durch eine kreisförmige Platte tt' geschlossen, welche etwa zehn schief gebohrte Löcher hat, wie Fig. 244 im Grundriss und Durchschnitt zeigt. Auf dieser ruht eine zweite Platte pp' von etwas kleinerem Durchmesser, die ebenfalls zehn Löcher hat, welche genau auf die vorigen passen, aber in entgegengesetzter Richtung geneigt sind. Die obere Platte lässt sich sehr leicht um eine vertikale Achse x, Fig. 243, drehen, welche oben mit einer Schraube ohne Ende versehen ist. Die Gänge dieser Schraube greifen in die Zähne des Rädchens rr'. Senkrecht zur Achse dieses Rädchens ist ein Arm befestigt, welcher das Rädchen cc' so oft um einen seiner Zähne weiter dreht, als das Rädchen rr' einen Umlauf macht. Hat also dieses 100 Zähne, so wird das Rädchen cc' nach z. B. 500 Umdrehungen des erstern um 5 Zähne verschoben. Auf den Achsen dieser Räder sind Zeiger angebracht, welche, wie in Fig. 244, die Anzahl der Umdrehungen auf den ausserhalb angebrachten Zifferblättern angeben. Die beiden Rädchen sind auf einer

Fig. 243. Fig. 244.



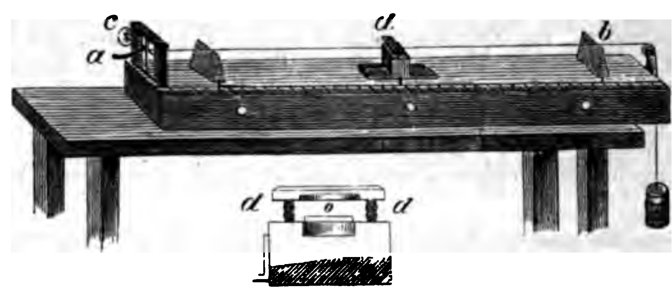
Scheibe befestigt, die in Fig. 243 schwarz gelassen ist, und durch einen Druck auf *b* oder *b'* ein wenig rechts oder links geschoben werden kann. Ist sie nach rechts verschoben, so greifen die Gänge der Schraube ohne Ende nicht in die Zähne des Rädchens *rr'*. Es steht also auch dann still, wenn durch das Einblasen von Luft in die Röhre *gg'* die Platte *pp'* und mit ihr die Achse sich dreht. So bald nun ein Ton von bestimmter Höhe, z. B. der einer Orgelpfeife, die auf den Windkasten gesetzt ist, anhaltend gehört wird, also der Beharrungszustand eingetreten ist, verschiebt man die Platte nach links, damit die Zeiger in Bewegung kommen, und lässt sie z. B. eine Minute in dieser Lage. Die Verstellung der Zeiger gibt alsdann die Zahl der Umdrehungen also auch der einzelnen Luftstösse während dieser Zeit an.

§. 186.

Die Anzahl der *tonerregenden* Schwingungen bestimmt man entweder durch die Sirene oder durch das *Monochord* (Sonometer), Fig. 245. Das letztere besteht aus einem Kasten von dünnen Brettchen aus elasti-



Fig. 245.



schem und trockenem Holze, über welches eine Saite *ab* durch ein an ihrem Ende bei *b* hängendes Gewicht gespannt ist. Ihr anderes Ende ist bei *a* durch eine Klemmschraube *c* befestigt. An der Seite ist eine Scala angebracht, welche den Abstand der Schneiden von drei Stegen angibt. Der mittlere Steg *d* ist unten vergrössert abgebildet. Das darüber weggehende Brettchen hat unten eine Schneide und ruht auf zwei Federn, welche die beiden Stifte umgeben, die durch das Brettchen gehen. Zwischen der obern und untern Schneide geht die Saite *o* frei durch. Um sie schnell zu verkürzen, drückt man das Brettchen herab. Die relativen Grössen der Schwingungszahlen ergeben sich aus den §. 150 mitgetheilten Gesetzen.

Verkürzt man die Saite des Monochords um die Hälfte, oder spannt man sie durch das Vierfache des vorigen Gewichts, so gibt sie die *Octave des Grundtones* oder des Tones an, welchen sie vorher angab. Indem

dadurch die Anzahl der tonerregenden Schwingungen verdoppelt wird, so ist die Anzahl der Schwingungen der nächst höhern Octaven das Vierfache, Achtfache u. s. w. Die einfachsten Verhältnisse der Schwingungszahlen geben die schönsten Consonanzen. Wenn man daher die Theilung fortsetzt und die Saite z. B. den Ton C angab, so findet man, dass $^2/_3$ derselben die *Quinte*, $^3/_4$ die *Quarte*, $^4/_5$ die *grosse Terz*, $^3/_5$ die *Sext*, $^8/_9$ die *Sekunde*, und $^8/_{15}$ die *Septime* des Grundtons C angeben.

Da die Schwingungszahlen im umgekehrten Verhältnisse mit den Schwingungszeiten, und folglich mit den Längen der Saiten stehen, so erhält man also, wenn man die Anzahl der Schwingungen des Tones C gleich 1 setzt, und die nächst höhere Octave desselben durch c bezeichnet, für die übrigen Töne einer Octave die darunter stehenden Schwingungszahlen:

$$\begin{array}{cccccccc} C, & D, & E, & F, & G, & A, & H, & c \\ 1, & \frac{9}{8}, & \frac{5}{4}, & \frac{4}{3}, & \frac{3}{2}, & \frac{5}{3}, & \frac{15}{8}, & 2. \end{array}$$

Mit dem Tone c fängt eine neue Octave an, die mit denselben, aber kleinen Buchstaben c, d, e etc. bezeichnet wird. Die Töne der darauf folgenden Octaven werden durch $\bar{c}$, $\bar{d}$, $\bar{e}$ etc., bei der nächst höhern durch $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{d}}$, $\bar{\bar{e}}$ etc. angegeben. Die Töne unter C werden durch $\underline{C}$, $\underline{D}$ u. s. w. bezeichnet. Im Ganzen umfasst die Musik 9 Octaven, und es ist also $\underline{\underline{C}}$ das tiefste und $\bar{\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}}$ das höchste c. Die Octave von G oder g muss ebenso die doppelte Zahl von Schwingungen machen, wie die Octave von C. Da nun die Schwingungszahl von G gleich $^3/_2$, so ist die Octave von G gleich 3, oder dreimal so gross als die von C. Man nennt g die Octave der Quinte von C. Ist also z. B. das Verhältniss der Schwingungszahlen wie 4 : 9, und C der Grundton, so muss d der zweite Ton sein, weil die Sekunde von C durch $^9/_8$ und die Octave der Sekunde durch $^9/_4$ vorgestellt wird.

§. 187.

Das Zahlenverhältniss zweier Töne heisst ihr *Intervall*. Es ist *consonirend*, wenn es in einfachen Zahlen ausgedrückt werden kann, und *dissonirend*, wenn dieses nicht der Fall ist. Durch die Vereinigung mehrerer Töne entsteht ein *Accord*, und auch dieser ist *consonirend*, wenn es alle Intervalle der Töne, die ihn bilden, sind. Wo nicht, so ist er *dissonirend*. Ein vollkommener Accord heisst das Zusammenklingen dreier Töne, deren Schwingungszahlen sich verhalten wie 4 : 5 : 6, also C, E, G und G, H, d. Das Fortschreiten von einem Ton zu dem nächsten nennt man die *Tonleiter*; dabei sieht man, dass das Verhältniss zweier auf einander folgenden Töne nicht immer das nämliche ist. Das Intervall von D und C ist z. B. $^9/_8 : 1$, oder $^9/_8$, während das von D und E $\frac{5}{4} : \frac{9}{8}$ oder $\frac{10}{9}$ und das von F und E $\frac{4}{3} : \frac{5}{4}$ oder $\frac{16}{15}$ beträgt. Andere Intervalle kommen für unmittelbar auf einander folgende Töne nicht vor. Das Intervall $\frac{9}{8}$ heisst der Major, $\frac{10}{9}$ der Minor, $\frac{16}{15}$

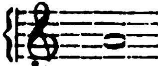
Semimajor. Das Intervall zwischen Major und Minor ist $\frac{80}{81}$ oder das kleinste von combinirten Tönen und wird durch das Wort Comma bezeichnet. Ferner ist auch das Intervall der Quinte von *D* nicht dem der Quinte von *C* gleich. Das erstere beträgt $^5/_3 : {^9/_8}$ oder $\frac{40}{27}$, während das letztere gleich $^3/_2 : 1$, oder $^3/_2$ ist. Die Quinte von *D* würde also keinen so reinen Accord geben als die Quinte von *C*. Darum müssen noch andere Töne eingeschaltet werden, welche von den einfachen Intervallen nicht so stark abweichen. Man nennt diese Abweichung der Intervalle von den oben angegebenen Verhältnissen $^2/_3$, $^3/_4$, $^4/_5$ u. s. w. ihre *Temperatur*. Das gewöhnliche Verfahren der Musiker ist, dass noch Töne eingeschaltet werden, deren Schwingungszahlen entweder im Verhältniss von 24 zu 25 vermehrt, oder im Verhältniss von 25 zu 24 vermindert sind. Das erste wird durch ein # (Kreuz), das letzte durch ein *b* (bemol) bezeichnet. Die so eingeschalteten Töne werden im ersten Fall durch *is*, im andern durch *es* angedeutet. Das Intervall von Des ist also z. B. $\frac{9}{8} \cdot \frac{24}{25} = \frac{27}{25}$. Vertheilt man aber die entstehenden Abweichungen ganz gleichförmig auf die Töne einer Octave, so heisst die Temperatur *gleichschwebend;* im entgegengesetzten Falle *ungleichschwebend*. Da geringe Abweichungen vom reinen Intervall durch das Ohr nicht wahrgenommen werden, so wählt man am vortheilhaftesten die *gleichschwebende* Temperatur, obgleich die vollkommene Reinheit der Intervalle dadurch verloren geht. Von den ungleichschwebenden Temperaturen hat die *Kirnbergische* das meiste Ansehen genossen. In der folgenden Tabelle sind die Verhältnisse der Schwingungszahlen und der Saitenlängen für die 12 gebräuchlichen Töne einer Octave, für die gleichschwebende und die Kirnbergische Temperatur angegeben; wobei die Länge und Zahl der Schwingungen von *c* zur Einheit angenommen ist.

	Gleichschwebende Temperatur.		Kirnbergische Temperatur.	
	Schwing.-Zahlen.	Saitenlängen.	Schwing.-Zahlen.	Saitenlängen.
c	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
cis	1,05946	0,94387	1,05349	0,94922
d	1,12246	0,89090	1,12500	0,88889
dis	1,18921	0,84090	1,18518	0,84375
e	1,25992	0,79370	1,25000	0,80000
f	1,33484	0,74915	1,33334	0,75000
fis	1,41421	0,70710	1,40625	0,71112
g	1,49831	0,66742	1,50000	0,66667
gis	1,58740	0,62996	1,58024	0,63281
a	1,68179	0,59461	1,67702	0,60250
b	1,78180	0,56123	1,77778	0,56250
h	1,88775	0,52973	1,87500	0,53334
c	2,00000	0,50000	2,00000	0,50000

§. 188.

Will man aus den Intervallen die absolute Anzahl der ganzen Schwingungen irgend eines Tones in der Musik berechnen, so muss man die von irgend einem bestimmten Tone kennen. *Fischer* hat im Jahr 1821 durch sorgfältige Versuche mit dem Monochord gefunden, dass die

Anzahl der tonerregenden Schwingungen desselben Tones nicht überall gleich ist. Der in der Musik durch

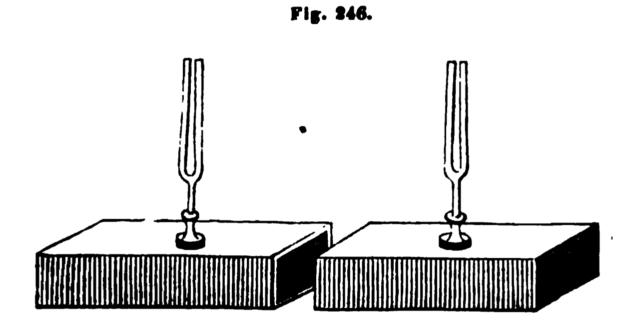


oder durch $\overline{a}$ bezeichnete Ton wurde nach der herkömmlichen Stimmung des Berliner Theaters durch 437, nach der in der grossen Oper zu Paris durch 431, und in der italienischen Oper daselbst durch 424 ganze Schwingungen einer leeren Violinsaite hervorgebracht. Nimmt man als Mittel die Zahl 430 an, so macht die Octave von $\overline{a}$ oder $\overline{\overline{a}}$ 860 Schwingungen. Das unmittelbar höhere $\overline{\overline{c}}$ aber macht nach der Tabelle 2,00000 Schwingungen, während $\overline{a}$ nur 1,68179 Schwingungen macht, und muss also, wenn $\overline{a}$ deren 430 macht, durch $\frac{430 \;.\; 2,00000}{1,68179}$ oder 512 Schwingungen hervorgebracht werden. Die Octave von $\overline{\overline{c}}$ oder $\overline{\overline{\overline{c}}}$ muss daher 1024 ganze Schwingungen in einer Sekunde machen. Auf dieselbe Art kann man die Schwingungszahl für jeden andern Ton finden.

Die obige Stimmung ist in den meisten Orchestern seitdem nach und nach gestiegen und war im Jahr 1858 in Paris von 431 auf 449 für das $\overline{a}$ gewachsen, wesshalb in ganz Frankreich nun normale Stimmgabeln mit 435 Schwingungen für diesen Ton vorgeschrieben sind.

Ein sehr einfaches Mittel, um die Schwingungszahl jedes Tones zu bestimmen, ist das verbesserte *Diaspason* von *Marloye*, Fig. 246, in Verbindung mit dem Monochord. Es besteht in zwei Stimmgabeln, die genau 256 Schwingungen in 1 Sekunde machen, und auf hohle Kästchen von dünnem Holz festgeschraubt sind. Die auf einer Seite offenen Enden dieser Kästchen stehen einander gegenüber in 1 Zoll Abstand. Der Raum vom Anfang des einen bis zum Ende des andern Kästchens ist ½ Wellenlänge oder 2 Par. Fuss. Beide ruhen auf einer dicken Lage Fliesspapier. Streicht man die eine Stimmgabel an, so tönt die andere sehr laut mit, und der Ton von beiden bleibt mehrere Minuten lang hörbar, während er sich bei Anwendung von nur einem Kästchen viel früher verliert. Man kann also das Monochord sehr leicht so stimmen, dass es gleichfalls 256 Schwingungen in 1 Sekunde macht. Ist nun die Länge der freien Saite desselben oder die Scala in 1000 Theile getheilt, und muss man diese Saite auf n Theile verkürzen, damit sie den Ton gibt, dessen Schwingungszahl man bestimmen will, so ist $\frac{256 \;.\; 1000}{n}$ die Anzahl der Schwingungen dieses Tones.

Fig. 246.



Klebt man an eine der vorigen beiden Stimmgabeln oben etwas Wachs an, so schwingt sie nicht mehr mit, weil ihr Ton vermöge der grössern Masse nunmehr tiefer werden müsste.

Wenn ein Ton n Schwingungen in 1 Sekunde macht, und der Hörer A, Fig. 247, ist in Ruhe, so fängt sein Ohr von dem gleichfalls ruhenden Instrument, z. B. einer Pfeife, n Stösse in einer Sekunde auf. Bewegt sich aber die Pfeife mit der Geschwindigkeit v von o gegen den Hörer in A, so wird für

Fig. 247.

diesen ihr Ton höher. Ist nämlich $op = \frac{332}{n}$ M. oder die Wellenlänge des Tons der Pfeife und $oq = \frac{v}{n}$ der Weg, welchen in der Zeit von einem Stoss zum andern die Pfeife zurücklegt, so ist der erste Stoss von o nach p gelangt in dem Augenblick, in welchem der zweite bei q entsteht. Die einzelnen Stösse sind also für den Hörer in A nur um $pq = po - qo$ von einander entfernt. Die Wellenlänge ist also kürzer, und die Zahl der Stösse die nach §. 183 der Hörer A in 1 Sekunde hört oder $n_{,} = \frac{332}{pq}$.

Da aber $pq = po - oq = \frac{332}{n} - \frac{v}{n}$, so ist

$$n_{,} = \frac{332\,n}{332 - v}.$$

Für den Hörer in B, von dem sich die Pfeife entfernt, ist die Wellenlänge des Tones $= or + qo = po + qo$, folglich

$$n_{,} = \frac{332\,n}{332 + v}.$$

Diese Theorie hat Doppler aufgestellt, und die Versuche von *Ballot* auf Locomotiven, so wie die von *E. Mach* haben sie bestätigt. Letzterer befestigte eine Pfeife radial an einem Rad und brachte sie durch einen Luftstrom, der durch die Achse ging, in's Tönen. Steht man in der Ebene des Rads, so hört man beim Drehen desselben einen höhern Ton, wenn sich die Pfeife nähert, und umgekehrt einen tiefern. Dasselbe habe ich erreicht, indem ich das Mundstück der Pfeife mit einem Trichter versah und diesen an einem Stab befestigte, der sich schnell um seine Mitte drehte.

Aus dem Frühern erklärt sich, warum die Scheiben, welche bei Erzeugung der *Chladni*'schen Figuren gebraucht wurden, höhere und zusammengesetztere Töne gaben, wenn die entstandene Klangfigur zusammengesetzter war. So gibt in Fig. 206 der erste Fall den tiefsten Ton, welchen die Scheibe geben kann, und der zweite Fall die Quinte desselben an. Um eine reine Klangfigur der Scheibe hervorzubringen, muss darum auch der Ton rein sein. Verrückt man aber die Stelle, an welcher man die Scheibe hält, ein wenig, so bleibt derselbe Ton, nur unreiner, während die Klangfigur verzerrt wird. Bei der Aeolsharfe schwingen die Saiten in mehreren ungleichen Theilen und können daher verschiedene Accorde geben, je nachdem die sanfte und theilweise Berührung derselben durch den Wind grössere oder kleinere Abtheilungen bewirkt. Auch bei dem Klavier hört man ausser dem Haupttone, den

eine gespannte Saite hervorbringt, mehrere andere Töne, welche höher als der Grundton sind; und zwar mit abnehmender Stärke alle die Töne, die sie durch Unterabtheilungen nach den ganzen Zahlen 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 . . . hervorbringen kann. Sie heissen, wie früher gesagt, Obertöne, auch harmonische und Flageolettöne; und können durch ein gleichgestimmtes Arzneiglas einzeln wahrgenommen werden. Die Saite nimmt also freiwillig noch solche Unterabtheilungen an. Hängt man einen Glasstab an einem Faden auf, den man mit dem Finger in's Ohr steckt und darin festhält, so hört man neben dem Haupttone, der durch Anschlagen des Glasstabes entsteht, ebenfalls noch andere Töne.

§. 189.

Aus dem Vorhergehenden folgt, dass die Luft auf manchfaltige Arten in Schwingungen versetzt werden kann. Am wichtigsten ist noch die Hervorbringung von Tönen durch das Schwingen einer eingeschlossenen Luftsäule. Sie beruht auf der Interferenz der directen und der reflectirten Schallwellen.

Wenn eine Schallwelle *de*, Fig. 248, von einer festen Wand *ab* reflectirt wird, und es drückt der Berg *fe* die Stelle derselben aus, in welcher die Schwingungen der Luft von *f* nach *e* gehen, so müssen in demjenigen Theil des Berges, welcher schon reflectirt ist, die Schwingungen nach entgegengesetzter Richtung gehen. Macht man daher $mcg = mce$ und $cn = cm$, so drückt das Thal *ncg* die Schwingungsrichtungen und Geschwindigkeiten in dem reflectirten Berg *mcg* aus. Ebenso wird ein reflectirtes Thal zu einem Berg. Ist nun von einem tonerregenden Körper in der Richtung von *d* nach *c*, Fig. 249, ein System von Schallwellen in die

Fig. 248.

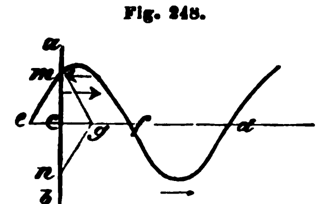
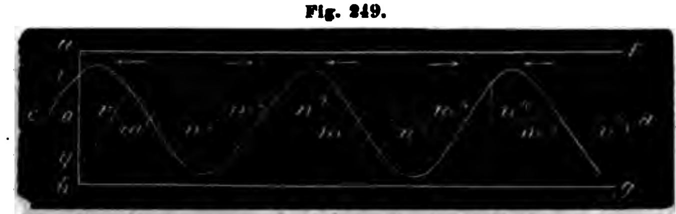


Fig. 249.



Röhre *abg* eingedrungen, und haben in irgend einem Augenblick die Lufttheilchen die durch den starken Wellenstrich angegebenen Schwingungsrichtungen, so drückt der schwache Wellenstrich das System der an der festen Wand *ab* reflectirten vorausgegangenen Wellen aus, wenn das Thal *oqr* gleich dem Berge *ocv* ist. Nach §. 169 entsteht aber aus der Interferenz zweier gleichen Wellensysteme ein drittes, dessen Wellen dieselbe Länge haben. Da nun in *o* die Höhe des Berges *ov* und die Tiefe des Thales *oq* einander gleich sind, so muss daselbst die Bewegung aufhören; ebenso in einem Abstand davon, welcher $= \frac{l}{2}$, wenn *l* die Länge einer Welle ist, also in n^1, wo das Thal des starken und der Berg des schwachen Wellenstrichs gleich sind. Die folgenden Schwingungsknoten sind in n^2, n^3, n^4. In den Punkten m^1, m^3 . . verstärken sich die Berge, in m^2, m^4. . . die Thäler. Da nun bei der Reflexion jedes Punkts des Wellensystems an der Wand *ab* sich an dieser die

Bewegungen aufheben, so müssen auch zu jeder Zeit die Schwingungsknoten in Abständen von dieser Wand liegen, welche gleich $\frac{l}{2}$, $\frac{2l}{2}$, $\frac{3l}{2}$, $\frac{4l}{2}$ sind, oder es müssen sich stehende Wellen bilden. In den Punkten m^1, m^3, m^5 . . gehen in diesem Augenblick die Schwingungen von d nach c, und in m^2, m^4 . . in der entgegengesetzten Richtung. Die Luft in n^1, n^3, n^5 ist also verdünnt, in n^2, n^4 . . verdichtet. Nach einer halben Oscillationszeit ist die Luft in n^1, n^3, n^5 verdichtet und in n^2, n^4 verdünnt u. s. w. In m^1, m^2, m^3, m^4 . . gehen die Lufttheilchen hin und her, ohne eine Verdichtung oder Verdünnung zu erfahren. Will man darum die Luft in einer solchen Röhre in stehende Schwingungen versetzen, so darf man den tonerregenden Körper nicht in einen Schwingungsknoten bringen, sondern man muss die Töne in der Nähe der Punkte m^1, m^2, m^3 oder der sogenannten *Bäuche* erzeugen, an welchen die Lufttheilchen hin und her gehen können, das heisst, in einem Abstand vom Boden ab, welcher gleich $\frac{l}{4}$, $\frac{3l}{4}$, $\frac{5l}{4}$ . . ist. Daraus folgt, dass die Länge der an einem Ende gedeckten Röhre, in welcher stehende Wellen erzeugt werden sollen, entweder $\frac{l}{4}$ oder $\frac{3l}{4}$, $\frac{5l}{4}$ . . . . sein muss, wenn der tonerregende Körper für sich allein Wellen von der Länge l erzeugen würde. Wenn der Boden ab die Welle nicht vollkommen reflectirt, so heben sich an den Schwingungsknoten die Schwingungen auch nicht vollkommen auf, und wenn er ganz fehlt, so findet die Reflexion an der äussern Luft nur nach und nach statt, und die Erfahrung lehrt, dass man alsdann als reflectirenden Ort eine Wand qr Fig, 250, ansehen

Fig. 250.



kann, welche um wenig mehr als $\frac{l}{4}$ von dem Ende ab der offenen Röhre $abfg$ entfernt ist. Die reflectirte Welle wird also hier um den Hin- und Hergang oder um eine halbe Wellenlänge gleichsam verzögert. Der erste Schwingungsknoten n' bildet sich in einem Abstand von qr, welcher gleich $\frac{l}{2}$, also in einem Abstand von ab, welcher gleich $\frac{l}{4}$ ist. Der zweite, dritte . . . in den Entfernungen $\frac{3l}{4}$, $\frac{5l}{4}$ . . . Da auch hier der tonerregende Körper entweder in m^2, m^3, m^3 . . . sein muss, so muss also die Länge der offenen Röhre $\frac{l}{2}$, $\frac{2l}{2}$, $\frac{3l}{2}$ oder $\frac{4l}{2}$ . . . . betragen, wenn sich stehende Wellen darin bilden sollen.

Weil die abwechselnde Verdichtung und Verdünnung der Luft an den Schwingungsknoten durch die Wände der Röhre verhindert ist sich auszubreiten, so müssen durch die fortdauernde Wirkung des tonerregenden Körpers die stehenden Schwingungen einen solchen Grad von Stärke erreichen, dass die eingeschlossene Luft nun selbst die umgebende Luft und die Massentheilchen der Röhre in Schwingungen versetzt oder tönend wird. Die Länge, bei welcher die Luftsäule Töne von der Wellenlänge l erzeugt, ist nach dem Obigen:

$$\text{bei gedecktem Ende} = \frac{l}{4}, \frac{3l}{4}, \frac{5l}{4} \ldots$$

$$\text{bei offenem Ende} = \frac{2l}{4}, \frac{4l}{4}, \frac{6l}{4} \ldots$$

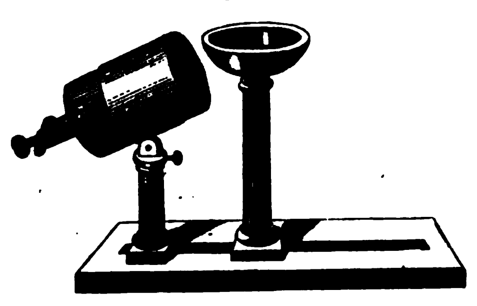
Eine gedeckte Pfeife gibt darum denselben Grundton als eine offene von doppelter Länge.

Eine gedeckte Pfeife kann nach dem Obigen einen Ton, dessen Wellenlänge l ist, geben, wenn in ihrer eigenen Länge das $\frac{l}{4}$ entweder 1-, oder 3-, 5-, 7mal enthalten ist, und eine offene Pfeife gibt diesen Ton, wenn $\frac{l}{4}$ darin entweder 2-, oder 4-, 6-, 8mal enthalten ist. Daher erhält man auch durch immer stärkeres Anblasen mit derselben gedeckten Pfeife verschiedene Töne, deren Schwingungszahlen sich wie 1, 3, 5, 7 verhalten, und mit derselben offenen Pfeife die Töne, deren Zahlenverhältniss 2, 4, 6, 8 ist. Das Entstehen dieser auf einander folgenden oder *harmonischen* Töne erfordert, nach *Wertheim*, dass die Spannung der zum Einblasen dienenden Luft im Verhältniss der Quadrate der Zahlen 1, 2, 3, 4 .. wächst.

Je enger die Röhre im Verhältniss zu ihrer Länge ist, desto genauer treffen obige Gesetze zu. Im Allgemeinen sind aber die Töne der Orgelpfeifen immer tiefer, als sie der Theorie nach sein sollten. *Liskovius* hat sogar nachgewiesen, dass die Tiefe des Tones mit der Weite der Pfeifen zunimmt.

Der tonerregende Körper ist bald eine Stimmgabel, die an das offene Ende der Röhre gehalten wird, bald ein dünner, schnell bewegter Luftstrom, der sich an der Schärfe der Ränder bricht und durch die Lippen oder das Mundstück einer Pfeife erzeugt wird. Der Ton der Stimmgabel wird aber nur dann durch die Röhre verstärkt, wenn das Volumen der letztern im richtigen Verhältniss zur Wellenlänge des Tones steht. Daher kann man auch solche Röhren, Gläser, Fläschchen u. s. w. dadurch stimmen, dass man, wenn sie zu lang sind, Wasser nachfüllt. So hatten auch die Vasen, welche die Römer auf das Theater stellten, den Zweck, die Stimme der Schauspieler zu verstärken. Durch eine Röhre, Fig. 251, in welcher eine andere, mit oder ohne Boden, verschoben werden kann, wird der Ton einer Glocke verstärkt, wenn die Luftsäule die rechte Länge hat. Soll eine offene Orgelpfeife den tiefsten Ton von 16 Schwingungen, also den einer Welle von 1024 : 16 oder 64 Fuss geben, so muss sie 32 Fuss lang sein. Um die fünfte Octave dieses Tons oder $\overline{\overline{c}}$ zu geben, muss sie dagegen 1 Fuss lang sein. Bläst man

Fig. 251.



diese Pfeife stärker an, so erhält man die Octave von $\overline{\overline{c}}$, bläst man noch stärker, so gibt sie die Quinte des letzten. Ist die Pfeife gedeckt und $^{1}/_{2}$ Fuss lang, so gibt sie ebenfalls den Ton $\overline{\overline{c}}$, stärker angeblasen $\overline{\overline{g}}$ u. s. w., wie die obige Theorie lehrt. Eine kleine Orgel, wie Fig. 252, mit Pfeifen von 1 bis 2 Fuss und den dazwischen liegenden Tönen, dient am besten zu solchen Versuchen. Die Seitenlöcher der Flöten ändern die Höhe des Grundtons ebenso ab, als wenn die Röhre verkürzt würde. Ebenso ist diess der Fall bei ähnlichen Instrumenten.

Fig. 252.

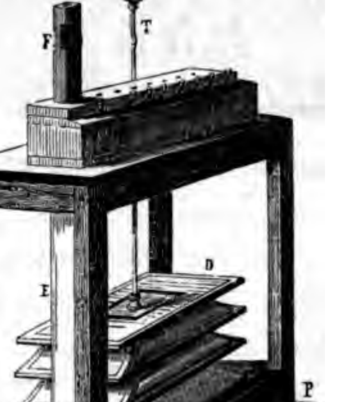
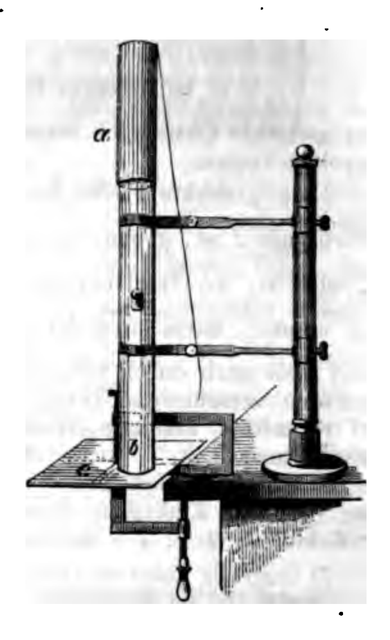
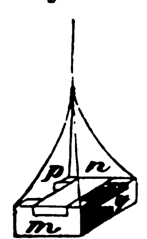


Fig. 253.



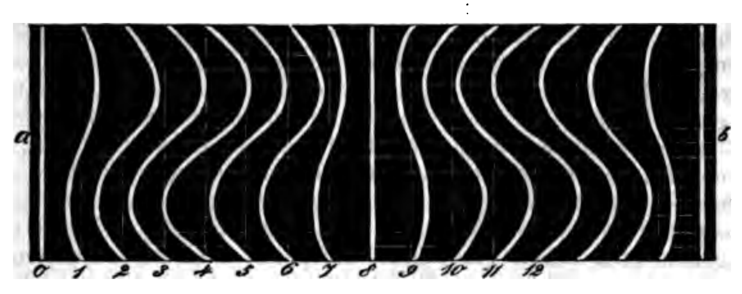
Um die Schwingungsknoten der Luftsäule nachzuweisen, bediente sich *Hopkins* des in Fig. 253 abgebildeten Apparates. *ab* ist eine gläserne Röhre von 1,5 Zoll im Durchmesser, an deren oberem Ende sich bald eine oben offene, bald eine gedeckte kupferne Röhre verschieben lässt. Die Schwingungen werden durch Anstreichen der Glasplatte *c*, die mit einer Zange gehalten ist, hervorgebracht. Das an einem Faden in der Röhre hängende Metallrähmchen, welches in Fig. 254 grösser abgebildet wurde, ist mit einer zarten Membrane *mn* bedeckt, die mit Hülfe des Stäbchens *pq* beliebig gespannt werden kann. Das Ruhen oder Schwingen des auf die Membrane gestreuten feinen Sandes deutet an den verschiedenen Stellen der Röhre an, ob *Schwingungsknoten* oder keine vorhanden sind. *Hopkins* fand damit die Bestätigung, dass der Abstand der Knoten unter sich gleich $\frac{l}{2}$, wenn man die Länge einer Welle von dem der Scheibe entsprechenden Ton gleich l setzt; er fand aber auch, dass an ihnen, weil die Reflexion nicht vollständig erfolgt, die Bewegung nicht gleich Null, sondern nur ein Minimum ist, und dass bei der oben gedeckten Röhre der Abstand des ersten Knotens von dem untern offenen Ende merklich grösser als $\frac{l}{4}$ ist. Bei der oben offenen Röhre ist der erste Knoten von oben um etwas weniger als $\frac{l}{4}$ vom Ende entfernt.

Fig. 254.



Auch die Bewegung der Lufttheilchen in der Pfeife lässt sich mit Hülfe des in §. 179 beschriebenen Apparates und der Zeichnung Fig. 255, welche über die Walze passt, versinnlichen. In dieser Zeichnung sind die Kurven nach denselben

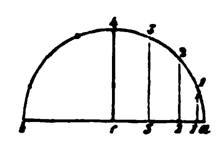
Fig. 255.



Regeln verzeichnet, wie früher im §. 181, nur ist die grösste Excursionsweite für jedes Theilchen einer Viertelwelle verschieden, wie man durch Betrachtung der Verschiebung beider Wellensysteme, des directen und des reflectirten, findet.

Ist die Linie *ab* die Länge einer Welle und bezeichnet man die grösste Excursionsweite des Theilchens 4 oder 12 von der Gleichgewichtslage nach rechts oder links durch *ca* und *cb* in Fig. 256, so erhält man die grösste Excursionsweite für die Theilchen 1, 2, 3 in Fig. 255 durch die Perpendikel 11, 22, 33, welche man in Fig. 256 durch die Theilungspunkte der Peripherie zieht. Ist die Welle in 24 Theile getheilt, so kommen auf den Viertelskreis 6 Theile statt 4. Mit Hülfe der Excursionsweite zeichnet man sodann die Kurve für jedes einzelne Theilchen wie früher. Weil aber in der Pfeife alle in einer halben Wellenlänge liegenden Theilchen zugleich ihre grösste Geschwindigkeit vor- oder rückwärts haben, so müssen die äussersten Ausbiegungen alle in einer mit der Achse parallelen Linie liegen. Deckt man den Spalt vor der Walze in Fig. 237, S. 190 so zu, dass nur die Länge von 0 bis 4, Fig. 255, offen bleibt, so sieht man beim Drehen der Walze, wie die Lufttheilchen in einer gedeckten Pfeife auf die einfachste Art schwingen. Ist alles bis auf die Länge zwischen 4 und 12 gedeckt, so hat man die einfachste Art der Schwingungen einer offenen Pfeife, mit einem Knoten bei 8. Deckt man von 0 bis 12 weiter auf, so sieht man die Schwingungen der Luft in der gedeckten Pfeife mit 1 Knoten u. s. w. Durch Theilung der Walze in mehrere halbe Wellenlängen erhält die Zeichnung mehrere Knoten, und man kann damit die höhern Töne versinnlichen, welche eine Pfeife gibt.

Fig. 256.



§. 190.

Die Erzeugung der Töne durch Saiten- und Blasinstrumente kann man sich aus dem Vorstehenden nunmehr grösstentheils leicht erklären.

Bei der Glasharmonika von *Franklin*, welche aus mehreren gleichdicken und zusammenstimmenden Glasglocken besteht, die ineinander geschoben und auf einer horizontalen Achse befestigt sind, wird der Ton hervorgebracht, indem man den Rand von mehreren zugleich mit den Fingern berührt, während sie mittelst einer Achse an einem Schwungrade umgedreht werden. *Chladni's* Streichwalze besteht aus gläsernen Stäben, die mit andern in Verbindung stehen, und durch Reiben mit nassen Fingern jene in Schwingungen durch Mittheilung versetzen.

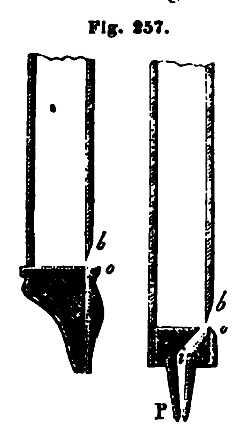
Bei der Maultrommel wird die im Munde eingeschlossene Luftsäule durch die Schwingungen einer elastischen Feder zum Vibriren gebracht. Durch die Bewegung der Zunge wird die Mundhöhle bald vergrössert, bald verkleinert, wodurch Töne von verschiedener Höhe erzeugt werden

können; da die Schwingungen der stählernen Zunge allein nur *einen* und zwar sehr tiefen Ton geben würden, so müssen in der eingeschlossenen Luft Schwingungknoten entstehen.

Bei den Saiten-Instrumenten entsteht durch das Anschlagen oder Streichen der Saiten an der getroffenen Stelle eine abwechselnde Verdichtung oder Verdünnung derselben. Diese läuft der Länge nach hin und her, und wird bei jeder Bewegung oder Transversal-Schwingung der Saite erneuert, bis sich diese an den unterstützten Stellen nicht mehr biegt. Dadurch entstehen die Schwingungen der Massentheilchen, welche sich den Massentheilchen des Resonanzbodens mittheilen. Da der Stoss auf die ersten sich bei jeder Biegung der Saite erneuert, so ist die Höhe des Tons von der Anzahl jener Schwingungen abhängig. Wenn man an einer gemauerten Wand eine Saite aufspannt und in schwingende Bewegung versetzt, so hört man fast keinen Ton; wenn aber von dem Steg der Saite ein hölzerner Stab zu einem entfernten Resonanzboden führt, so geht von diesem der Ton aus.

In den Blasinstrumenten wird die Luft auf die §. 189 angegebene Art in schwingende Bewegung versetzt. In Fig. 257 ist die Mundöffnung eines Flageolets und einer Orgelpfeife dargestellt. Durch das Licht *i* wird die Luft eingeblasen und entweicht durch die Mundspalte *b*. Der entweichende Luftstrom ist ein wenig schief gegen die obere Lippe des Mundes gerichtet. Indem nun die Luftsäule in der Röhre durch diesen Luftstrom etwas zurückgedrängt wird, und vermöge ihrer Elastizität wieder zurückkehrt, bilden sich stehende Schwingungen in derselben. Vieles hängt dabei von dem richtigen Verhältniss des Abstandes der obern und der untern Lippe *o* des Mundes und der Stärke des Luftstroms ab. Man kann diess leicht zeigen, wenn man eine Orgelpfeife mit einer beweglichen Oberlippe *b* versieht und den Wind durch einen Hahn einströmen lässt. Bei einer geringen Oeffnung des letztern entsteht der Grundton, bei immer weiterer die im §. 189 angeführte Reihenfolge der Töne.

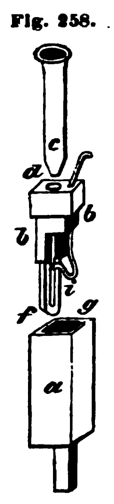
Fig. 257.



Für die Nachweisung, wie die Länge der gedeckten Pfeife mit der Höhe des Tons zusammenhängt, dient eine Pfeife mit Glasrohr, in der man einen Kolben verschieben kann, oder eine enge und lange Holzpfeife, die mit verschliessbaren Seitenröhren versehen ist. Durch die stehenden Wellen der Luftsäule kommen sowohl die Massentheilchen des Körpers als auch die äussere Luft in's Tönen. Darum hindert auch die Berührung des Rohrs die tönende Schwingung der Massentheilchen nicht; wohl aber hört sie zum Theil auf, wenn man das ganze Blasinstrument mit einer weichen Masse überzieht, oder wenn man dessen Wände zu dünn macht. Flöten, an welchen das Holz zu dick ist, tönen dumpf und klanglos; allzudünne Orgelpfeifen geben einen schreienden Schall. Röhren von Pergament und Papier geben einen tiefern Ton, wenn sie befeuchtet werden. Daraus folgt, dass der Ton derselben durch die tönenden Schwingungen der Massentheilchen modificirt wird.

Die Zungenpfeife, Fig. 258, deren Theorie *W. Weber* untersucht hat, besteht aus drei Theilen, dem Windrohr *a*, durch welches die Luft eingeblasen wird, der eigentlichen Pfeife *b*, welche fest darauf gesteckt wird, und dem Ansatzrohr *c*, welches ein an beiden Enden offenes Rohr ist und in die Mündung *d* passt. *df* ist eine cylindrische Metallröhre, welche der Länge nach von *b* bis *f* aufgeschnitten, bei *f* aber geschlossen ist. Ein elastisches Plättchen, dessen schwingender Theil durch die bewegliche Krücke *i* mehr oder weniger verkürzt werden kann, gestattet vermöge seiner Elastizität dem Luftstrom bald den Ausgang in die Rinne *bf* und damit in das Ansatzrohr *c*, bald verschliesst es denselben. Die Höhe des Tons hängt darum hauptsächlich von der Geschwindigkeit ab, mit welcher das Plättchen schwingt; doch hat darauf auch die Länge des Ansatzrohres einen wesentlichen Einfluss, wie man schon daran sieht, dass es schwerer ist, mit dieser Pfeife einen Ton hervorzubringen, wenn das Ansatzrohr fehlt, und dass der Ton ein anderer wird, wenn man letzteres verlängert. Ist die Wellenlänge des Tons der Pfeife ohne Ansatzrohr gleich l, und gibt man dem Ansatzrohr die Länge $\frac{l}{2}$, so hört man die tiefere Octave des ersten Tons, wenn man das Ansatzrohr an der Pfeife befestigt. Bei einer nur wenig grössern Länge des Ansatzrohrs springt der Ton plötzlich auf den ersten Ton zurück. Bei der doppelten Länge steigt er um die Quart, bei der dreifachen um die kleine Terz des zweiten Tons. Die Hauptbedingung für die Erzeugung eines Tones durch die Zungenpfeife ist immer, dass das Ansatzrohr, die Spannung des Plättchens und die Stärke des Luftstroms in Harmonie stehen. Diess kann aber auf vielerlei Arten geschehen, und man hat mit Erfolg durch verschiedene Abänderungen an dem Ansatzrohr, durch Einschalten von Membranen u. s. w. Versuche gemacht, die menschliche Stimme nachzuahmen. Auf ähnliche Art wird auch bei mehreren andern Instrumenten, z. B. bei der Klarinette, die Höhe des Tons durch die Wechselwirkung der Zunge und der tönenden Luftsäule bestimmt, wie *Helmholtz* in neuerer Zeit nachgewiesen hat.

Fig. 258.



Aus dem Vorhergehenden kann man sich nun die Bildung der Töne bei Flöten, Flötenwerkpfeifen und ähnlichen Instrumenten leicht erklären; ebenso bei Hörnern, Trompeten u. s. w. Bei letztern wird durch stärkere Spannung der Lippen und schnelleres Blasen der Ton erhöht. Der Ton der Hörner wird durch theilweises Bedecken der untern Oeffnung vertieft, wie bei der gedeckten Pfeife. Der ausgebogene Trichter am Ende der Hörner, Trompeten u. s. w. bewirkt auch, dass die Schwingungszahl mehr von der Art des Anblasens als von der Länge des Rohrs abhängig ist.

Bei Pfeifen, deren Durchmesser mehr als $^1/_6$ ihrer Länge beträgt, und die man kubische Pfeifen nennt, hängt die Höhe der Töne hauptsächlich von dem Volumen der Luft in denselben und von der Stärke des Anblasens ab. Diess ist z. B. bei dem kleinen Instrumente der Fall,

womit die Jäger verschiedene Thierstimmen nachahmen; ebenso bei dem Brummtopf oder Tanzmeister. Nach *Sondhauss* stehen bei ihm die Schwingungszahlen der Töne, bei gleicher Stärke des Anblasens, im umgekehrten Verhältniss der Quadratwurzeln von dem Volumen der kubischen Pfeifen.

Bei Glocken entstehen die Schwingungen auf die im §. 157 angegebene Art; doch findet dabei ein periodisches Anschwellen und Sinken des Tones statt, indem die Bäuche und Knoten hin und her schwanken und oft sogar vollständig rotiren, wodurch dem Ohr gegenüber sich bald starke, bald schwach oscillirende Stellen befinden. Auch hört man bei ihnen Nebentöne, die von den dickern und engern Querschnitten der Glocke erzeugt werden.

Die chemische Harmonika besteht aus einer Glasröhre, die man über einen brennenden Strom Wasserstoffgases oder gewöhnlichen Leuchtgases hält. Sobald die Flamme in dem Rohr brennt, strömt die Luft mit grösserer Geschwindigkeit durch dasselbe. Dadurch wird der Druck auf das Gas vermindert und es strömt mehr Gas aus. Es erfolgt also nun eine Verdünnung desselben in dem Gasrohr, und in Folge davon dringt die Luft in dieses ein und bewirkt selbst im Innern des Gasrohrs, nahe an seiner Spitze, eine Verbrennung. Gleich darauf überwiegt wieder der Druck des zuströmenden Gases von innen, die Flamme bildet sich wieder über der Spitze und so wechselt das Heraus- und Hereinbrennen schnell nach einander. Dadurch werden die über der Mündung befindlichen Lufttheilchen auf- und abwärts gestossen und es entsteht ein Ton. Diese Erklärung von *A. Schrötter* stimmt auch mit den von *J. Schaffgotsch* gemachten Beobachtungen, dass durch einen in der Nähe angestimmten Ton die nicht tönende Flamme zum Tönen angeregt und selbst ausgelöscht wird, wenn der Ton zu dem Ton der Harmonika in einem einfachen Verhältniss steht.

Rijke hat dadurch eine neue Art von Ton erzeugt, dass er in ein beiderseits offenes Glasrohr ein feines Drahtnetz senkrecht zur Achse einsetzte, das ringsum die Wand berührte und dieses durch eine Gasflamme erhitzte. Sobald die Flamme entfernt ist, fängt die Röhre zu tönen an, weil die am Draht erhitzte Luft sich ausdehnt, dann aufsteigt und nach der Erkaltung an den Wänden wieder zusammenzieht, also Oscillationen veranlasst. Ist das Drahtnetz um $1/4$ der Röhrenlänge vom untern Ende entfernt, so gelingt der Versuch am besten. *Riess* hat aber den Ton auch erhalten ohne die Gasflamme zu entfernen, indem er das Drahtnetz um $1/3$ der Länge vom obern Ende entfernte. Sobald alsdann die Wände stark erhitzt sind, hört der Ton auf, fängt aber wieder an, wenn man die Flamme entfernt und die Röhre umkehrt. Als Riess mit einer Kupferröhre, die von Wasser umgeben war, die obigen Versuche anstellte, konnte er mittelst der Flamme den Ton stundenlang erhalten.

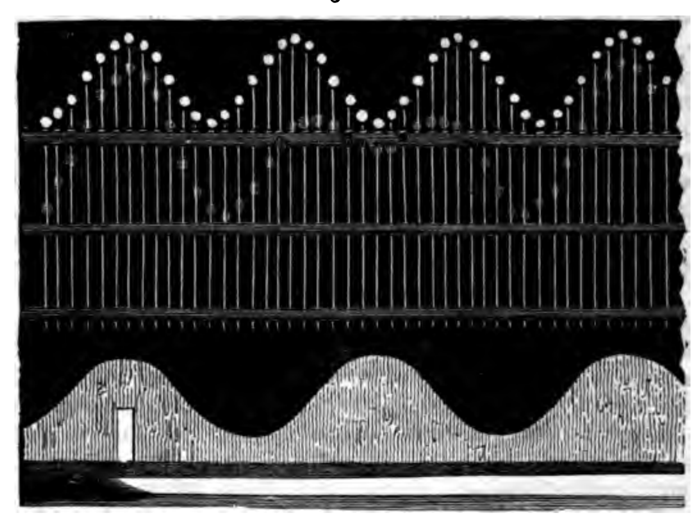
§. 191.

Wenn zwei Töne, die nicht im Einklang stehen, gleichzeitig angestimmt werden, so entsteht oft ein dritter, tieferer Ton, welchen man den *Tartinischen* oder auch *Combinations-Ton* nennt. Erfordert der erste Ton z. B. 400 Schwingungen und der andere 500 Schwingungen, so wird nach einiger Zeit immer der vierte Stoss des ersten und der fünfte des zweiten das Ohr zugleich erreichen. Dadurch entsteht eine verstärkte Wirkung auf dasselbe in grössern Zeiträumen, und man hört darum einen Ton, von welchem 100 Schwingungen auf 400 des ersten

Tones gehen. Macht aber der erste Ton 400 Schwingungen und der zweite 406, so erreicht die verstärkte Wirkung nur sechsmal in der Sekunde ihren höchsten Grad, oder es erfolgen nur *6 Stösse*, die man einzeln unterscheiden kann, wesshalb sie keinen neuen Ton erzeugen. Den Combinationston kann man durch zwei Orgelpfeifen, welche um eine Quinte verschieden sind, leicht hervorbringen; die Stösse, durch zwei Stimmgabeln, die nahezu gleich gestimmt sind, indem man sie über zwei mittönende Fläschchen hält. Auf gleiche Art, wie oben, kann der Combinationston mit irgend einem der beiden andern Töne wieder einen neuen Combinationston erzeugen, und endlich können die Combinationstöne unter sich einzelne Stösse veranlassen. *Die Zahl dieser Stösse oder die Schwingungszahl der Combinationstöne ist dem Unterschiede der Schwingungszahlen der erregenden Töne gleich. Helmholtz* hat in neuerer Zeit durch Theorie und Versuche nachgewiesen, dass es ausser diesen Combinationstönen, die man nach ihrem Ursprung Differenztöne nennen kann, auch noch solche gibt, die durch Summirung entstehen und die daher Summationstöne heissen mögen. Sie sind in den meisten Fällen schwach und daher schwer wahrnehmbar; bei der in §. 185 beschriebenen mehrstimmigen Sirene von Dove treten sie am lautesten hervor. Gibt diese z. B. die Töne C und c mit n und $2n$ Schwingungen an, so hört man deutlich die Quinte des letzten Tons mit $3n$ Schwingungen. Auch Summationstöne zweiter Ordnung können noch wahrgenommen werden. Hierher gehören auch die sogenannten *Klirrtöne*, welche entstehen, wenn man unter die Mitte einer Saite einen Steg so untersetzt, dass er sie gerade nur berührt, und dann die Saite senkrecht dagegen schlagen lässt. Man hört dabei ausser der höhern Octave des Grundtons der Saite noch einen Ton, der die tiefere Quinte des Grundtons ist. Bei stärker gespannten und kürzern Darmsaiten hört man die höhere Quarte jenes Tones.

Zeichnet man die Wellensysteme zweier Töne auf die im §. 151 angegebene Art, so findet man bei Tönen, die im Verhältniss von 2 zu 3 oder einem ähnlichen, durch kleine Zahlen darstellbaren einfachsten Verhältnisse stehen, dass sich eine der oben angegebenen Zahl entsprechende Anzahl von verstärkten Bergen und Thälern bildet; ist aber das Verhältniss nur durch grössere Zahlen, wie 15 zu 16, darstellbar, so bemerkt man in Folge jener Construction ein allmäliges Anschwellen und Abnehmen jener Berge. Die erste Construction erklärt das Entstehen des Combinationstones, die zweite das der Stösse und des *Anschwellens* von einem Tone. Durch den in Fig. 259 abgebildeten Interferenz-Apparat kann man sich jene Zeichnungen ersparen. Auf ein schwarzes Brett sind die zwei untern horizontalen Leisten befestigt. Eine dritte parallele Leiste, hier die oberste, ist beweglich. Alle drei sind vertikal in gleichen Abständen durchbohrt, um Stricknadeln aufzunehmen, an welche oben weisse Glasperlen gekittet sind. Diese Stricknadeln haben ungleiche Längen und bilden, wenn sie unten in einer geraden Linie endigen, oben ein Wellensystem. In gleichen Abständen von dem untern Ende sind oben kleine Ringe von Draht um diese Stricknadeln gelöthet, damit sie nicht durch die Löcher der obern Leiste tiefer herabfallen können, als gerade dazu nöthig ist, dass ihre untern Enden aus der untersten Leiste in einer parallelen Linie hervorragen. Stellt man nun dicht vor das schwarze Brett ein anderes, welches wie in der Figur so ausgeschnitten ist, dass seine obere Fläche ein anderes Wellensystem bildet, und senkt man die obere Leiste herab, bis sie auf der mittlern aufsitzt, so müssen die Stricknadeln auf dem untern Wellensystem ruhen. Die Perlen bilden alsdann das durch die Summirung entstehende und in der Figur durch die blasseren Perlen vorgestellte Wellensystem. Dieser Apparat kann auch zur Erklärung vieler andern Interferenz-Erscheinungen, z. B. der Schwingungsknoten in den Orgelpfeifen und dergl., benutzt werden. Man muss desshalb mehrere Brettchen haben, von denen das eine ein gleiches Wellen-

Fig. 259.



system mit dem der Nadeln, andere verschiedene Wellensysteme haben. Auch ist es nothwendig, dass in der obern Reihe wenigstens 10 bis 12 Wellen vorkommen, wenn man das Anschwellen des Tons durch ein darunter gestelltes gleichlanges System von 9 bis 11 Wellen versinnlichen will.

Besitzt man eine Zungenpfeife mit zwei neben einander befindlichen metallenen polirten Zungen und geben sie denselben Ton, so schwingen sie mit schwacher Excursionsweite. Sind die Töne so wenig verschieden, dass sie 1 bis 2 Stösse in der Sekunde geben, so tritt auch eine verstärkte Excursionsweite bei jedem Stoss ein, wie man in dem von den Zungen reflectirten Lichte sehr gut sehen kann. Dies ist ein Beweis, dass der Combinationston nicht subjectiv ist. *Dove* hat dafür noch einen andern gegeben.

Ist z. B. der Unterschied der Schwingungszahlen zweier Combinationstöne gleich 6, so ist die Anzahl der Stösse auch gleich 6. Hierauf gründete *Scheibler* eine von dem schwankenden Urtheile des musikalischen Gehöres ganz unabhängige Stimm-Methode. Hier kann des Raumes wegen nur die sinnreiche Stimmung einer Saite vermittelst der sogenannten *Nebenstellen* von *Scheibler* angeführt werden. Soll z. B. eine Saite von der Länge x den Ton a einer Stimmgabel geben von 216 Schwingungen, so kann man den Steg an der Saite so anbringen, dass die Stimmgabel mit ihr 4 Stösse in 1 Sekunde macht. Die Saite gibt alsdann entweder 220 oder 212 Schwingungen; darum muss sich nahe dabei noch ein Punkt finden lassen, welcher mit der Stimmgabel 4 Stösse gibt. Zwischen beiden liegt alsdann der Ort, an welchem man den Steg anbringen muss.

Um das Verhältniss der Schwingungszahlen zweier Stimmgabeln zu finden, kann man nach *Helmholtz* die schwach gespannte Saite eines Monochords gegen das eine Ende zum Theil mit einem Papier leicht bedecken, und dann vom andern Ende her den Fuss einer tönenden Stimmgabel so lange leise auf der Saite fortführen, bis man einen Ton hört. Diess ist ihr eigener Ton. Macht man dasselbe Experiment mit der andern Stimmgabel, so hat man das Verhältniss der beiden Saitenlängen für die zwei Töne, also das umgekehrte ihrer Schwingungszahlen.

§. 192.

Die Anzahl der tonerregenden Schwingungen ist nicht allein von der Länge der Saite oder der schwingenden Luftsäule abhängig, sondern auch von der spezifischen Elastizität des umgebenden Mittels. Darum entsteht in warmer Luft und im Wasserstoffgas ein höherer Ton, als in kalter Luft oder in einer dichteren Gasart. Der Ton der Blasinstru-

mente wird darum auch durch längeres Blasen erhöht. Da nun die Fortpflanzung des Schalls in andern Gasen und selbst in Dämpfen denselben allgemeinen Gesetzen unterworfen ist, wie in der Luft, so muss eine mit irgend einem Gase gefüllte und durch dasselbe angeblasene, gedeckte Röhre von l Fuss Länge, welche als tiefsten Ton den Ton angibt, der z. B. durch n Schwingungen der Luft hervorgebracht wird, nach §. 189 Wellen von $4l$ Fuss Länge erzeugen, und es müsste also die Geschwindigkeit des Schalls in diesem Gase gleich $4ln$ Fuss sein. Auf solche Art hat *Dulong* gefunden, dass, wenn man die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft = 1 annimmt, sie in den andern Gasen durch folgende Zahlen ausgedrückt wird:

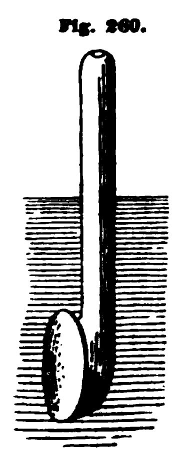
Sauerstoffgas . . .	= 0,952	Kohlensaures Gas .	= 0,786
Stickoxyd	= 0,787	Kohlenoxyd . . .	= 1,013
Wasserstoffgas . .	= 3,812	Oelbildendes . . .	= 0,943

Dass diese Geschwindigkeiten etwas zu klein sein müssen, geht nach §. 189 daraus hervor, dass die Pfeifen wegen ihrer Weite stets Töne geben, die etwas tiefer sind als die Theorie erfordert.

Aus der Verschiedenheit der Geschwindigkeit des Schalles in den verschiedenen Gasen folgt, dass es auch eine *Brechung des Schalles* geben müsse. In der That ist diese auch von *Sontheim* durch folgenden Versuch nachgewiesen worden. Er befestigte luftdicht auf einen Metallring von 1 Fuss Durchmesser zwei Segmente einer aus Collodium verfertigten Kugel und füllte den Zwischenraum mit kohlensaurem Gas. Dadurch erhielt er eine Linse, welche den Schall einer in der Achse derselben aufgestellten Uhr, in einem gegenüber liegenden Punkt dieser Achse wieder vereinigte. Die Erklärung der Wiedervereinigung der von der Uhr auf die Linsen fallenden Schallstrahlen ist dieselbe wie für Vereinigung der Lichtstrahlen durch eine convexe Linse, welche später folgen wird.

Tropfbare Flüssigkeiten leiten den Schall auf ganz ähnliche Art wie die Luft, nur schneller. Schlägt man z. B. eine Glocke unter Wasser an, so hören die unter dem Wasser befindlichen Personen einen kurzen nicht klingenden Ton, auch bemerkten *Colladon* und *Sturm*, dass der Schall von hohen Tönen durch das Wasser besser fortgepflanzt wird als durch die Luft. Den Ton einer 10 Centner schweren Glocke hörten sie z. B. im Wasser in einer Entfernung von 35000 Meter. Die Geschwindigkeit des Schalls fanden sie im Wasser 4,3mal so gross als in der Luft. Im Eis ist sie ohngefähr eben so gross. Um den im Wasser erregten Schall ausserhalb desselben zu vernehmen, wendet man die nach unten sich erweiternde Röhre, Fig. 260, an, welche an ihrem untern Ende durch eine elastische Scheibe von Blech verschlossen ist. Die Schwingungen des Wassers theilen sich alsdann durch die elastische Scheibe der Luft in der Röhre, und durch diese dem an ihr oberes Ende gehaltenen Ohre mit.

Fig. 260.



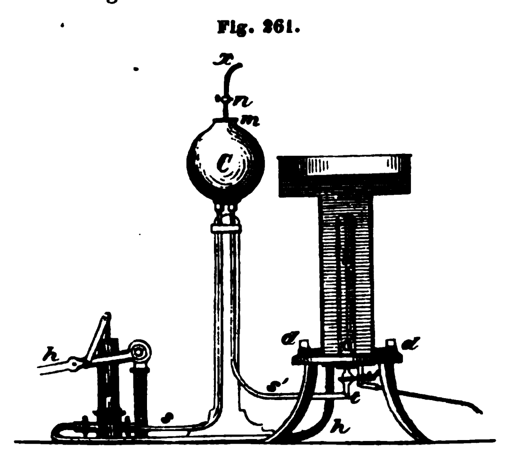
Auch in tropfbaren Flüssigkeiten lassen sich primäre Töne erzeugen. Eine heberförmig gebogene gleichschenklichte Röhre, die mit Wasser oder einer andern

Flüssigkeit gefüllt ist, kann durch Reiben in tönende Schwingungen versetzt werden, welche jedoch sich nicht nach der Dichte dieser Flüssigkeiten richten; und wenn man nach *Caignard-Latour* eine Pfeife mittelst eines Kautschuckbeutels, der mit einer Flüssigkeit angefüllt ist, unter derselben Flüssigkeit anbläst, so findet man, dass sie in derselben ertönt, und im Wasser z. B. einen höhern Ton gibt als im Quecksilber. Fette Oele und Schwefelsäure vibriren nicht, sondern sie heben sogar die Vibration des Quecksilbers auf, wenn man sie darauf giesst. Bei gewissen höhern Temperaturgraden erlangen sie jedoch ebenfalls das Vermögen zu vibriren. Auch die *Sirene* kann man unter Wasser zum Tönen bringen.

Durch feste Körper wird der Schall viel stärker und schneller fortgepflanzt als durch die Luft. *Chladni* hat eine sinnreiche Anwendung der Gesetze der Fortpflanzung des Schalls in elastischen Flüssigkeiten auf feste Körper gemacht, um die Geschwindigkeit desselben in ihnen zu finden. Wenn eine an beiden Enden offene Pfeife von 1 Fuss Länge denselben Ton gibt, als ein in Längenschwingungen versetzter Stab von 10 Fuss Länge, so verhalten sich die Geschwindigkeiten wie 1 zu 10, weil der Stab wie eine offene Pfeife schwingt, und in ihm also die Wellenlänge 10mal so gross ist als in der Luft. Aus solchen Versuchen ergibt sich die Geschwindigkeit des Schalls im Zinn 7,5mal, im Silber 9, im Kupfer 12, im Eisen und Glas 17, in verschiedenen Hölzern 11 bis 17, in gebranntem Thon 10- bis 12mal grösser als in der Luft. Die Untersuchungen von *Wertheim* beweisen, dass diese Zahlen nur die Geschwindigkeit des Schalls in stabförmigen Körpern angeben. Wenn er sich nach allen Seiten ausbreiten kann, so ist seine Geschwindigkeit für tropfbare und feste Körper grösser, und es verhält sich die erste zur zweiten Geschwindigkeit wie $\sqrt{2} : \sqrt{3}$.

Nach *La Place* ist die Geschwindigkeit des Schalls in tropfbaren Flüssigkeiten und festen Körpern, wenn er sich nach allen Seiten ausbreiten kann, oder $c = \sqrt{\frac{9,81}{v}}$, wo v die Verkürzung ausdrückt, welche eine horizontale Flüssigkeitssäule oder ein Stab von 1 Meter Länge durch einen Druck erfährt, der seinem eigenen Gewichte gleich ist.

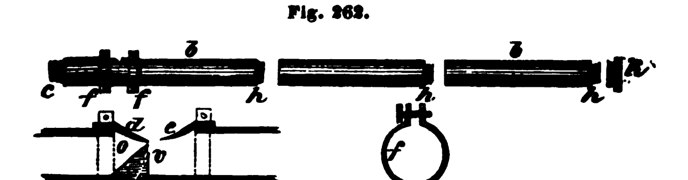
Fig. 261.



Wertheim hat folgende Methode angewandt, nicht nur um Töne in tropfbaren Flüssigkeiten hervorzubringen, sondern auch um die Geschwindigkeit des Schalls darin zu messen. Der Apparat, Fig. 261, besteht aus einem cylindrischen Wasserbehälter *A* von Zinkblech, 52 Centim. hoch, einer Orgelpfeife *b*, einer Pumpe *B*, einem Windkessel *C* und einem durch den Hahn *n* damit in Verbindung stehenden Manometer. In die messingene Bodenplatte *dd* wird die Pfeife geschraubt und durch die Röhre *t* von unten mit Wasser angeblasen, die Pumpe *B* saugt durch die Röhre *h* Wasser aus dem Behälter *A* und presst es durch die Röhre *s* in den Windkessel *C*.

Dadurch kann man die Luft in *C* so verdichten, dass das Manometer einen bestimmten Druck angibt. Man hält diesen Druck, während das Wasser in die Pfeife strömt, dadurch auf gleicher Höhe, dass man mit der Geschwindigkeit pumpt, bei welcher das Manometer immer auf demselben Punkt stehen bleibt. Die Figur 262 stellt eine von den messingenen Pfeifen vor, die aus drei Stücken zusammengesetzt ist. Vom ersten ist ein Theil vergrössert abgebildet. Die Lippen desselben sind durch zwei Platten *d* und *e* gebildet, die mit Hülfe der beiden Bänder *ff* in der Entfernung festgemacht werden, welche am geeignetsten zur Hervorbringung eines Tones ist. Die beiden andern Stücke dienen dazu, die Länge der Röhre zu verdoppeln und zu verdreifachen. Der Deckel *k* lässt sich an jedes Stück schrauben, um die offene Pfeife in eine gedeckte zu verwandeln. Für Flüssigkeiten muss die Oeffnung zwischen den Lippen schmaler und weniger lang sein, als für Luft, das Windloch *o* muss dagegen grösser und der Ablauf *v* steiler sein, als gewöhnlich.

Fig. 262.



Der Nebenton, welcher durch das Mitschwingen der Lippen entsteht, wird dann hinreichend geschwächt. Auch darf das Wasser nicht die mindeste Beimengung von fremden Körperchen enthalten. Wenn man mit dieser Vorrichtung einen anhaltenden Ton erzeugt hat, so bestimmt man die Zahl seiner Schwingungen auf die in §. 188 angegebene Art. Eine offene Pfeife von 0,52 M. Länge gab z. B. einen Ton von 1094 Schwingungen; also wäre die Geschwindigkeit des Schalls im Wasser 2 . 0,52 . 1094 oder 1137 M. Aus den im §. 189 angeführten Ursachen sind auch hier Correcturen nöthig, die durch Vergleichung der Töne von den drei Längen ermittelt wurden und für obigen Fall 36 M. betrugen. Die Schallgeschwindigkeit ist also in Röhren mit Wasser 1173 M. Im unbegränzten Wasser ist sie aber nach *Colladon* 1435 M., und wirklich verhält sich nahezu 1173 : 1435 $= \sqrt{2} : \sqrt{3}$.

§. 193.

Die Erscheinungen der Reflexion des Schalles sind eine einfache Folge der im §. 171 angegebenen Gesetze. Zunächst beruht darauf das Echo. Es heisst *einsilbig*, wenn es nur einsilbige Wörter wiederholt; *mehrsilbig*, wenn es mehrere Silben hinter einander wiederholt. Da nun, der Erfahrung gemäss, das Ohr in einer Sekunde ohngefähr neun Silben unterscheiden kann, und der Schall in einer Sekunde 1024 Fuss zurücklegt, so wird die erste Silbe eines neunsilbigen Wortes von einer reflectirenden Wand, welche halb so weit oder 512 Fuss entfernt ist, wieder zurückkommen, wenn gerade die letzte Silbe verhallt ist. Wäre die Wand näher, so würde das Aussprechen der letzten Silbe das Hören der ersten zurückkommenden Silbe stören. Ebenso lässt sich nun leicht einsehen, dass ein einsilbiges Echo nur an einer Wand, welche wenigstens den neunten Theil von 512 Fuss oder 56 Fuss entfernt ist, entstehen kann. Eine Wand, welche ein zwei-, drei- und viersilbiges Echo geben soll, muss zwei-, drei-, viermal so weit entfernt sein. Es gibt verschiedene Echo's, welche 14 bis 15 Silben wiederholen. Selbst Wolken und straff gespannte Segel eines Schiffes reflectiren den Schall.

Aus dem Obigen erklärt es sich, warum in einem gewöhnlichen Zimmer kein Echo gehört wird; da jedoch die Entfernung der Wände so beschaffen sein kann, dass jede Schallwelle, nachdem sie von diesen zweimal zurückgeworfen worden ist, mit der folgenden, von dem schallenden Körper herkommenden zusammentrifft, so kann auch die Stärke des Schalls durch Reflexion vergrössert werden. Desshalb ist in manchen Zimmern der Ton einer Stimme ausgiebiger als in andern, worauf jedoch auch das Mittönen der Wände Einfluss hat.

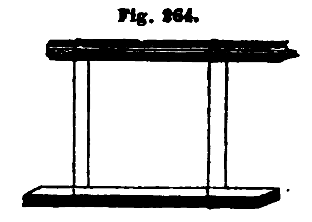
Der *Nachhall* entsteht wie das Echo, wenn die Entfernung der Wände kleiner ist als 56 Fuss. Beide sind unangenehm und störend; aber sie können durch die Construction des Gebäudes, in welchem gesprochen wird, oder durch das Bedecken der Wände mit Decken oder mit unelastischen oder rauhen Körpern, so wie auch durch Zierrathen, Ausfüllung der Höhlungen mit Sägspänen u. dgl. verhindert werden; weil durch diese die einzelnen Theile der Schallwelle in verschiedenen Zeiten zurückgeworfen werden.

Wenn ein Schall zwischen gegenüberstehenden Wänden erregt wird, so kann er zuweilen sehr oft reflectirt werden. Dadurch entsteht alsdann ein *vielfaches Echo*. Beispiele dieser Art sind viele bekannt, z. B. das 17fache Echo beim Lurleyfelsen am Rheine.

Ebenso kann zwischen zwei nahen, parallelen Wänden, wie in engen Gässchen, das Echo eines Fusstritts nach *Oppel* einen Ton erzeugen, weil es sich durch mehrmalige Reflexion sehr oft in 1 Sekunde wiederholt. Dieser Ton wird tiefer mit der Erweiterung des Zwischenraums.

Savart hat die durch das Zusammentreffen der directen Wellen mit den von einer Wand reflectirten Wellen entstehenden Interferenz-Erscheinungen näher untersucht und gefunden, dass sich stehende Wellen bilden, deren Länge gleich ist der der directen, und dass Töne verschiedener Art andere, ihnen entsprechende stehende Wellen erzeugen. Der Abstand der Knoten von der Wand wurde von *Seebeck* mit Hülfe einer gespannten Membrane, wie sie im §. 179 beschrieben ist, gemessen, oder durch einen Trichter, wie Fig. 263, welcher durch ein dünnes Häutchen geschlossen ist, dessen Spannung sich beliebig abändern lässt. Dieser Abstand wurde gleich $\frac{2l}{4}, \frac{4l}{4}, \frac{6l}{4}$ gefunden, wie es die Theorie, vgl. §. 189, erfordert. Wenn aber die Membrane auf der Seite des schallenden Körpers vor den Schwingungen geschützt ist, so erleidet sie nur die Einwirkung der reflectirten und der *gebeugten* Wellen, und dann sind die Knoten in den Abständen $\frac{l}{4}, \frac{3l}{4}, \frac{5l}{4}$ u. s. w. Daraus wird begreiflich, warum *Savart*, welcher die Knoten mit dem Gehör aufsuchte, ihre Abstände wie oben fand, wenn die zur Wand senkrechte Linie durch die beiden offenen Ohren ging, und warum sie ihm in den Abständen $\frac{l}{4}, \frac{3l}{4} \ldots$ erschienen, wenn die Linie durch beide Ohren zur Wand parallel war.

Fig. 263.


Fig. 264.

Man kann diese Knoten sehr leicht durch das Gehör finden, wenn man einen rechtwinklichten Stahlstab von etwa 22 Centim. Länge, $2^1/_2$ Breite und $^3/_4$ Dicke, wie in Fig. 264, an dem einen Ende eines grossen Zimmers mittelst Fäden aufhängt und mit dem Violinbogen anstreicht. Dieser Ton erhält sich sehr lange, und man kann desshalb in der Nähe der gegenüberstehenden Wand die Stellen aufsuchen, an welchen man ihn nicht mehr wahrnimmt.

§. 194.

Zur ferneren Bestätigung der oben (§. 171) angegebenen Gesetze von der Reflexion dienen folgende Erscheinungen:

Wenn man in den Brennpunkt *a* eines Hohlspiegels (Fig. 225, Seite 179) eine Uhr legt, so hört man ihr Picken auf ziemliche Entfernungen in dem Brennpunkte *b* des andern parallelen Hohlspiegels. Ebenso hört eine Person, welche ihr Ohr in den Brennpunkt des einen Spiegels hält, ein leises Gespräch, welches in dem andern geführt wird. In elliptisch gebauten Gewölben ist es ebenso, wenn der Sprecher in dem Brennpunkt *a* (Fig. 223, Seite 178) und der Hörer in dem andern Brennpunkt *b* steht. Das sogenannte Ohr des Dionysius in den Steinbrüchen bei Syrakus vereinigt die Schallwellen in einem Punkte, wie die Parabel (Fig. 224, Seite 178).

§. 195.

Auf der Reflexion beruht ferner das *Communications-Rohr*, das *Sprach-* und *Hörrohr*.

Das *Communications-Rohr* ist ein Rohr von gleicher Weite. Da die Schallwellen durch die Wand desselben verhindert sind, sich auszubreiten, so gehen sie mit fast unveränderter Stärke darin fort. *Biot* hörte auf eine Länge von 3000 Fuss ein leises Gespräch durch die Röhre einer Wasserleitung. Auf Schiffen benutzt man das Communications-Rohr sehr häufig, um aus der Cajüte des Kapitäns von der Schildwache im Mastkorbe Erkundigungen einzuziehen; ebenso in grossen Gebäuden, um das Hin- und Herlaufen aus einem Zimmer in das andere zu ersparen. Sehr bequem dazu sind vulkanisirte Kautschuckröhren mit trichterförmigen Erweiterungen von Holz.

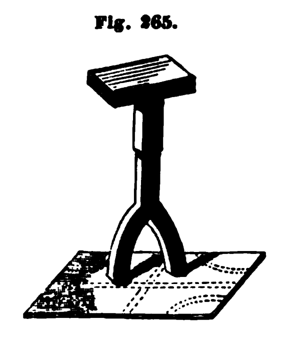
Wenn Schallwellen in dem Brennpunkte *a* einer Parabel (Fig. 224) erregt werden, so gehen sie beinahe wie in einem Communications-Rohre fort; darauf gründet sich das *Sprachrohr*. Wenn die Wände desselben konisch sind, so werden die Schallwellen auf eine ähnliche Art in der Richtung der Achse fortgeleitet. Eine starke Männerstimme kann man dadurch bis auf 18000 Fuss hören.

Das *Hörrohr* ist nur ein umgekehrtes Sprachrohr. Der Schall wird dadurch verstärkt, dass eine grössere Menge Schallwellen durch dasselbe aufgefangen, und nach dem engern Theile, in welchem sich das Ohr befindet, hingeleitet wird. Nach Einigen soll sein Nutzen vorzüglich darin bestehen, das Gehör durch die erste entstehende Erschütterung für den Schall empfindlicher zu machen.

§. 196.

Alle Erscheinungen über die *Interferenz* des Schalles folgen aus den im §. 169 angegebenen Gesetzen. Zu Versuchen darüber dient die gabelförmige Röhre, Fig. 265, an deren oberem Theil eine zweite Röhre sich verschieben lässt, die ein hohles Kästchen von Holz trägt. Ueber letzteres ist eine Membrane schwach gespannt. Wenn man die untern offenen Enden bald über zwei in gleicher Phase schwingende Abtheilungen, bald über zwei in entgegengesetzter Phase schwingende Stellen einer zum Schwingen gebrachten Scheibe bringt, so wird im ersten Fall der auf der Membrane befindliche Sand mit verstärkter Gewalt abgeworfen und bildet eine Klangfigur, im letzten bleibt er in Ruhe.

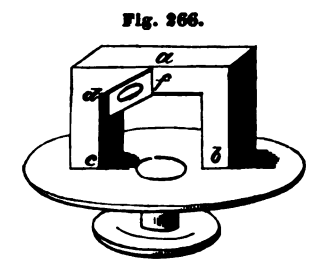
Fig. 265.



Jeder schwingende Stab muss nach der Richtung einer Ausbeugung in derselben Zeit eine verdichtete Welle erregen, in der er nach der entgegengesetzten Richtung eine verdünnte Luftwelle erzeugt. Bei zwei Stäben muss es darum, wenn sie denselben Ton erzeugen, in gewissen Richtungen Stellen geben, an denen die Verdichtung und Verdünnung sich aufheben, und also gar kein Schall wahrgenommen wird. Am besten bemerkt man diess bei einer schwingenden Stimmgabel, wenn man sie nahe an das Ohr, oder vor die Oeffnung eines mittönenden Arzneiglases hält und dreht. *W. Weber* hat die vier Flächen um die Gabel, in denen kein Ton wahrgenommen wird, näher untersucht, und ihre hyperbolische Gestalt entdeckt. Beim schnellen Drehen einer Stimmgabel in einer zu ihrer Länge senkrechten Richtung mit Hülfe einer Drehbank, nimmt man aus derselben Ursache gar keinen Ton wahr.

Ein anderer zweckmässiger Interferenz-Apparat ist in Fig. 266 abgebildet. bac ist eine hohle Röhre von Holz, deren beide Hälften durch einen Schieber df mit einem Loch f bald verbunden, bald getrennt werden können. Wenn die Länge $ab = \frac{1}{4} l$ und die Länge der Schallwelle einer schwingenden Platte $= l$ ist, so verstärken die Röhren ab und ac auf Stellen einer Glasplatte, die in gleicher Richtung schwingen, den Ton, während sie ihn auf Stellen, die nach entgegengesetzter Richtung schwingen, nicht verstärken. Setzt man die beiden Kanäle ab und ac im letzten Fall durch das Loch f wieder in Verbindung, so wird der Ton stärker.

Fig. 266.



Richtet man gegen die §. 185 beschriebene *Sirene* von *Seebeck* zwei Glasröhrchen, so dass sich die Mündung des einen stets vor einem Loch befindet, und die des andern zugleich vor dem nächsten oder einem benachbarten Loche derselben Reihe, aber auf der entgegengesetzten Seite, so gibt jede Röhre, allein angeblasen, denselben Ton; werden sie aber beide zugleich angeblasen, so verschwindet derselbe und man hört nur ein Rauschen. Stehen beide Röhren auf einer Seite zugleich über zwei Löchern, so hört man dagegen den Ton verstärkt. Diess ist auch der Fall, wenn ihre Stösse nicht zugleich erfolgen. Stehen aber die beiden Röhrchen auf entgegengesetzten Seiten von Löcherreihen, deren eine doppelt so viele Löcher hat als die andere, so hört man nur den tiefern Ton, weil sich die andern Stösse aufheben. Folgen die Löcher wie in Fig. 267 auf einander und bläst man sie mit zwei Röhrchen nur von einer Seite an, so hört man, wenn der Zwi-

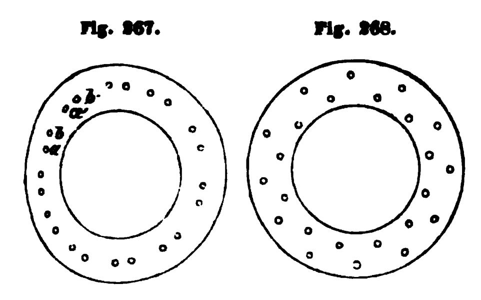


Fig. 267. Fig. 268.

schenraum $a'b'$ im Verhältniss zu ba' klein ist, nur den Ton, welchen die Löcherreihe a, a' allein gäbe; ist aber ab und ba' nicht sehr ungleich, so hört man ausserdem die Octave des vorigen Tones, und je mehr sie sich der Gleichheit nähern, desto mehr verschwindet der erste und tritt der letzte hervor. Durch mehrere solcher Löcherreihen wies *Seebeck* nach, dass die Abweichung vom Isochronismus der Stösse sehr bedeutend sein kann, während das Gehörorgan noch einen gleichartigen Ton wahrnimmt, wenn sich die Abstände der Löcher nur nicht zu sehr von ihrem Mittelwerthe entfernen. Ist diess aber der Fall, so zerlegt es dieselben in zwei oder drei Systeme von gleichartigen Stössen.

Aus den Versuchen von *Seebeck* geht ferner hervor, dass die Richtungen, in welchen zwei sich interferirende Töne zum Ohr fortpflanzen, sogar einen beträchtlichen Winkel bilden können und doch den resultirenden Ton nach den obigen Gesetzen hervorbringen, wenn sie nur isochronisch erfolgen. Davon überzeugt man sich leicht, wenn man an der *Seebeck*'schen Sirene zwei der Zahl nach gleiche Löcherreihen wie in Fig. 268 anbringt und beide zugleich von einer Seite anbläst. Man hört alsdann denselben Ton, als ständen alle Löcher in einer Reihe.

Wenn man auf einer kreisförmigen Scheibe eine durch 16 Radien getheilte Klangfigur erzeugt und eine gleichgrosse Scheibe von Pappdeckel so ausschneidet, dass abwechselnd ein Sector stehen bleibt, so kann man diese parallel und nahe über die Klangscheibe halten, und während diese schwingt, leicht drehen. Man wird dann den Ton bald schwächer, bald stärker hören, je nachdem die stehengebliebenen Sectoren die nach gleicher Richtung schwingenden Theile zum Theil oder ganz bedecken.

§. 197.

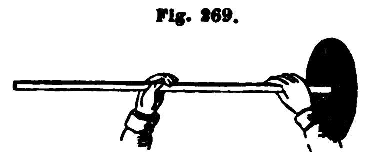
Ausser den schon angeführten Schwingungsknoten und stehenden Wellen, welche sich durch die Reflexion des Schalls in Blasinstrumenten bilden, entstehen auch stehende Schallwellen in Zimmern, wenn z. B. eine Glocke in regelmässigen Zwischenräumen schlägt. Die Leichtigkeit, mit welcher diese stehenden Schwingungen in *festen* und hinreichend elastischen Körpern hervorgebracht werden können und sich einige Zeit erhalten, macht sie zu *selbsttönenden* Körpern. Sie bilden sich auf dieselbe Art wie im §. 189. Da nun ein elastischer Körper nach jeder Richtung schwingen kann, so gibt es ausser den tonerregenden Transversalschwingungen auch *Längenschwingungen* und *drehende Schwingungen*. Das Entstehen der letztern kann man sich am besten dadurch erklären, dass man sich einen langen Draht denkt, der in einer Richtung, welche zu seiner Länge senkrecht ist, um einige Grade gedreht wird. Vermöge seiner Elastizität wird er, durch eine Folge von Oscillationen, in seine vorige Lage zurückzukehren suchen. Bei einem dicken und steifen Stabe werden diese Oscillationen hinreichend rasch, um einen Ton hervorzubringen.

Die *Längentöne* erzeugt man dadurch, dass man eine Saite unter einem sehr spitzen Winkel mit dem Violinbogen anstreicht, oder indem man eine Glasröhre der Länge nach mit einem nassen oder mit Harz bestreuten Tuchläppchen reibt, während man sie in der Mitte mit zwei Fingern hält. Durch schnelleres Reiben und stärkern Druck erhält man nach dem Grundton 1 die harmonischen Töne 2, 3, 4. Um 4 zu erhalten, muss die Röhre länger als 2 Meter sein. Dieselben Versuche

kann man auch mit prismatischen Stäbchen von Holz, Glas oder Metall anstellen. Bei gleichem Stoff und gleicher Länge geben sie den nämlichen Ton, wenn auch ihre Dicke verschieden ist. Sie entstehen aber immer auch bei den Transversal-Schwingungen der Saiten durch die abwechselnde Ausdehnung und Zusammenziehung derselben. Sie hängen gar nicht von der Dicke, sehr wenig von der Spannung, aber vorzüglich von dem Stoffe ab, aus welchem die Saite besteht, und sind höher als die Töne, welche durch die Querschwingungen desselben Stabes hervorgebracht werden.

Wenn man eine Glasröhre von 1/3 Zoll Durchmesser und 3 1/2 Fuss Länge an eine Scheibe, wie in Fig. 269, kittet, und mit den nassen Fingern der linken Hand in der Mitte leicht anfasst, und nun mit der rechten Hand in horizontaler Lage schnell dreht, so entstehen sehr regelmässige *drehende* Schwingungen und daraus ihr Ton.

Fig. 269.



Poisson hat durch mathematische Untersuchungen ein sehr einfaches Verhältniss zwischen der Zahl der Längenschwingungen und der Querschwingungen von Saiten und Stäben gefunden, welches durch die Versuche von *Savart* und in neuerer Zeit von *Wertheim* bestätigt worden ist.

Bezeichnet man durch n und n' die Schwingungszahlen der tiefsten Töne von Quer- und Längenschwingungen, ferner durch l die Länge einer Saite und durch a die Verlängerung, welche sie durch die Spannung erleidet, so ist $n\sqrt{a} = n'\sqrt{l}$. Ist l die Länge eines cylindrischen Stabs und r sein Durchmesser, und schwingt er transversal, während er an dem einen Ende festgeklemmt ist, longitudinal aber, während man ihn in der Mitte hält und seine Enden frei sind, so ist $nl = 0{,}55958 \,.\, n'r$.

Zwischen den Querschwingungen und den drehenden eines Stabs aber besteht das Zahlenverhältniss $n = n'\sqrt{2{,}5}$.

§. 198.

Von der im §. 170 angeführten Beugung müssen auch die Schallwellen einen Beweis liefern; da jedoch in den meisten Fällen der Schall da, wo er durch Oeffnungen geht und sich zur Seite fortpflanzt, auch durch den festen Körper gegangen ist, so kann man den gebeugten Schall von dem direkten oft nicht unterscheiden. Doch bemerkt man an der schnellen Abnahme seiner Stärke, wenn z. B. militärische Musik um eine Strassenecke marschirt, dass die direkten Schallwellen intensiver sind als die gebeugten.

Einen Beweis, dass die Schallschwingungen auch bei der Beugung der Wellen genau senkrecht gegen die Oberfläche der Wellenfläche bleiben, liefert die von *Savart* und *Seebeck* im §. 193 beschriebene Beobachtung, dass die reflektirten und die gebeugten Wellen sich interferiren oder bald verstärken, bald schwächen.

Alle Erscheinungen der Reflexion und Beugung des Schalls finden nach *Colladon* im Wasser eben so gut als in der Luft statt, indem er unter dem Wasser das Echo vom Ufer so gut darin wahrnahm, als die Fortpflanzung des Schalls um die Vorgebirge in dem Genfer See.

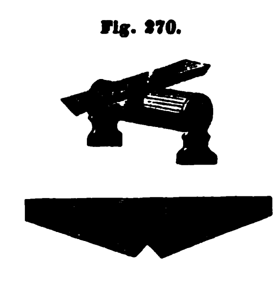
§. 199.

Die Mittheilung des Schalls von tönenden Körpern an andere erfolgt oft in Verbindung mit den auffallendsten Erscheinungen. Sie

geht durch alle festen Zwischenkörper hindurch, welche mit dem tönenden Körper ein Ganzes ausmachen. Wenn aber bei dem im §. 177 von *Savart* angeführten Versuche, die eine von zwei parallelen gleichförmigen Scheiben, welche mit der andern durch einen Glasstab verbunden ist, durch Streichen mit einem Violinbogen einen Ton angibt, so gibt die andere denselben Ton an, selbst wenn sie kleiner ist. Im letzten Fall muss sie sogar eine andere Unterabtheilung annehmen, wie man durch aufgestreuten Sand sichtbar machen kann. Wenn zwei neben einander befestigte Saiten die zu ihrem Einklang erforderliche Spannung und Länge besitzen, und man schlägt die eine an, so schwingt die andere so stark mit, dass kleine Reiter von Papier, die man darauf gelegt hat, herabfallen. Diess ist nicht der Fall, wenn die Saiten nicht genau im Einklang stehen, wohl aber, wenn ihr Intervall das einer Octave ist; dasselbe findet statt zwischen einer Stimmgabel uud einer Saite. Darauf hat *Bary* eine Methode gegründet, ohne Hilfe des Gehörs eine Guitarre zu stimmen. In einem offenen Klavier, dessen Saiten nicht gedämpft sind, erfolgt bei jedem Ton, der ausserhalb desselben erzeugt wird, ein Mitschwingen und Tönen der betreffenden Saite. Ist der Ton zusammengesetzt aus mehreren andern, so werden auch die einzelnen Töne darin angeregt, und man hört darum aus dem Klavier auch den zusammengesetzten Ton. Nun besteht nach *Helmholtz* jeder Vokal, den wir singen, aus einem Hauptton und mehreren Obertönen. Singt man darum z. B. *a* in's Klavier, so tönen die sämmtlichen Saiten und Unterabtheilungen, die dem Hauptton und den Obertönen entsprechen mit und setzen so das *a*, durch Resonanz, wieder zusammen. Es schallt darum ein deutliches *a* aus dem Klavier zurück. *Wheatstone* hat gezeigt, dass, wenn man den Resonanzboden eines Fortepiano's durch einen dazu senkrechten Draht, von der Dicke einer Schreibfeder, mit einem sehr entfernten Resonanzboden ebenfalls unter einem rechten Winkel verbindet, die Töne, welche auf dem ersten Instrumente hervorgerufen werden, mit grosser Deutlichkeit an dem zweiten vernommen werden können, selbst wenn beide durch mehrere Zimmer von einander getrennt sind. Mit geringerem, aber doch merklichem Erfolge kann man diesen Versuch auch mit Blasinstrumenten anstellen, indem man sie mit einem Resonanzboden in Verbindung setzt.

Um Töne der Luft dem Wasser mitzutheilen, dient nach *J. Müller* am besten eine offene Orgelpfeife, über deren unteres Ende man eine Membrane schwach gespannt hat, und die man damit in's Wasser taucht. Ebenso setzte er, um die Töne der Luft in festen Körpern fortzuleiten, diese mit einem Holzring in Verbindung, über welchen eine starke Membrane gespannt ist. Um die Schwingungen eines festen Körpers dem Wasser oder einer andern Flüssigkeit mitzutheilen, kittet man ihn so an das Gefäss, in welchem sie sich befindet, dass er noch ein wenig daraus hervorragt, und streicht ihn der Länge oder Quere nach an. Die Schwingungen des Wassers theilen sich in der Richtung, in der sie erfolgen, sehr leicht einer Glasröhre und andern festen und elastischen Körpern mit.

Ein Instrument, dessen Töne man hauptsächlich durch das Mitschwingen anderer Körper wahrnimmt, ist auch das *Trevelyan*-Instrument, Fig. 270. Es besteht aus einem Stab von Kupfer oder einem andern


Fig. 270.

die Wärme gut leitenden Metalle, dem *Wieger*, dessen Querschnitt unten besonders abgebildet ist. Dieser wird stark erhitzt, und dann mit seiner Mitte auf ein oben gerundetes und frisch geschabtes Stück Blei gelegt. An letzteres ist ein Paar messingener Füsse befestigt, um es auf den Tisch zu stellen. Das erhitzte Metall ruht bald auf der einen, bald auf der andern seiner untern Kanten, und erzeugt dadurch einen Ton, dass es sehr schnell herüber und hinüber wankt.

Nach *H. Seebeck* sind diese Schwingungen um so stärker, je besserer Leiter das heisse Metall ist, je schneller sich in ihm die Wärme vom Berührungspunkte aus verbreiten kann, je weniger sich das heisse und je mehr sich das kalte Metall ausdehnt, weil, so lange die kalte Unterlage von dem Wieger berührt wird, sie sich ausdehnt, so dass eine kleine Erhöhung entsteht, und wenn nun der berührte Punkt von dem heissen Wieger, der jetzt auf die andere Seite fällt, verlassen wird, sich jene Erhöhung wieder zusammenzieht. Der Raum, welchen der Berührungspunkt des heissen Metalls beim Fallen durchläuft, ist alsdann grösser, als der, welchen er beim Steigen vom Blei ab beschrieben hatte, so dass die fallende Seite immer bis zu einem niedrigern Punkte gelangt, als die andere, und also das Instrument in der erlangten Schwingung beharrt. Folgen die Schwingungen sich schnell genug, so erzeugen sie mancherlei Töne und bringen die umgebenden Körper zum Mitschwingen. Berührt man den Tisch an gewissen Stellen, so hört in demselben Augenblick oft nicht nur der Tisch, sondern auch das Instrument zu spielen auf. Man kann seine Töne von denen der umgebenden Körper unterscheiden, wenn man seine Mitte durch eine feine Spitze fest an das Blei andrückt, wodurch oft ein Ton entsteht, welcher um eine ganze Octave höher ist. Zinkstangen oder Scheiben von gleichem Metall, die schnell erhitzt oder erkältet werden, gerathen gleichfalls in Transversal-Schwingungen.

Eine der wichtigsten Anwendungen der Fortpflanzung des Schalls durch feste Körper ist das *Stethoscop*. Es besteht aus einem ohngefähr 1 Fuss langen und $1^1/_4$ Zoll dicken Cylinder von hartem Holz, welcher am einen Ende flach und der Länge nach durchbohrt ist. Indess die Aerzte das eine Ende desselben auf den kranken Theil des Körpers setzen und das Ohr an das andere Ende halten, bemerken sie die An- oder Abwesenheit des Athemgeräusches und die verschiedenen Abänderungen desselben; ferner die Modifikationen in der Fortleitung der Stimme und der in der Luftröhre, in deren Aesten, oder in Aushöhlungen entweder für sich sich bewegenden oder durch Flüssigkeit sich hindurchdrängenden Luft; ferner die durch Aufeinanderlegung zweier rauhen Flächen entstehenden Reibungsgeräusche, so wie die normalen oder die davon abweichenden Töne, welche die Klappenarbeit des Herzens erzeugt.

Da nach §. 177 die Richtung, in welcher ein mittönender Körper schwingt, von der Richtung der Schwingungen des tonerregenden Körpers abhängt, und die Wirkung derselben am stärksten ist, wenn sie senkrecht zur Oberfläche desselben sind, so erklärt sich, warum ein Resonanzboden schwächer tönt, wenn die Stimmgabel schief auf ihn gestellt wird, als wenn man sie senkrecht dazu hält, und warum, wie *Wheatstone* fand, eine Stimmgabel in Berührung mit einem zum Resonanzboden senkrechten Draht in verschiedenen Lagen, mit verschiedener Stärke gehört wird. Steht die Gabel senkrecht zur Achse desselben, so werden ihre Schwingungen dem Brette verschieden mitgetheilt; dreht man sie in dieser Lage langsam um sich selbst, so erregt sie in vier verschiedenen Stellungen einen stärkern oder verschwindenden Ton. Biegt man den obern Theil des Drahtes in der Lage, in welcher die Stimmgabel den stärksten Ton gibt, bis er mit dem untern Theile einen rechten Winkel bildet, so verschwindet der Ton u. s. w. Aus diesen und ähnlichen Versuchen zieht man den sehr wahrscheinlichen Schluss, dass, wenn in einem Systeme fest mit einander verbundener Körper der eine einen anhaltenden Ton zu geben genöthigt wird, alle Theile dieses Systems gleichzeitige Bewegungen machen und denselben Ton hervorbringen; wenn aber der tönende Körper an einem andern von

so bedeutender Masse befestigt ist, dass er den Ton nicht zu ändern vermag, welcher dem letztern eigen ist, er in Schwingungen gerathen kann, die mit den Schwingungen der grössern Masse isochronisch sind.

Damit stimmt auch *Breguet's* Entdeckung überein, dass, wenn zwei vollständige Uhrwerke an demselben Metallboden befestigt sind und im Gange nicht sehr von einander abweichen, sie bald einen vollkommen übereinstimmenden Gang annehmen.

§. 200.

Das *Stimmorgan*, durch welches wir den Ton hervorbringen, ist eingefügt in den Athmungsapparat. Die wesentlichsten Theile desselben sind: 1) die *Luftröhre*, durch welche die Luft aus den Lungen, während des Ausathmens den Stimmbändern zugeführt wird. 2) Die *Stimmbänder*, zwei dünne elastische Platten, am untern Theile, des aus Knorpeln zusammengesetzten Kehlkopfes. Beim gewöhnlichen Athmen stehen die Stimmbänder weit auseinander und die Luft geht unhörbar zwischen ihnen durch; wird aber die Stimme in Thätigkeit gesetzt, so nähern sich die Platten gegenseitig und bilden dadurch einen sehr engen, von vorn nach hinten verlaufenden Spalt, die *Stimmritze*. Durch das enger werden dieser Oeffnung wird die Geschwindigkeit der auszuathmenden Luft vermehrt, die Stimmbänder kommen in Schwingungen und die Luft entweicht stossweise in den Kehlkopfraum über den Stimmbändern, wie bei der Zungenpfeife §. 190 durch die Zunge in das Ansatzrohr. Die Stelle des letztern vertreten hier der obere Kehlkopfraum, der Schlundkopf und dessen zwei Auswege, die Mund- und Nasenhöhle. Diese modificiren den Timbre des Tones wie bei den Zungenpfeifen das *Ansatzrohr*. Die Stelle des *Windrohrs* vertritt die *Luftröhre*. Die Fig. 271 stellt eine membranöse Zungenpfeife ohne Ansatzrohr vor, welche aus einer Glasröhre und einem darüber gebundenen Kautschuckrohr besteht. Wenn man die Glasröhre in den Mund nimmt, und während man hineinbläst, mit den Fingern die Seiten der Kautschuckröhre anspannt, so dass sich die beiden Ränder berühren, so entsteht ein Ton, dessen Höhe durch stärkeres Blasen, so wie durch grössere Spannung der Ränder steigt, und mit der menschlichen Stimme Aehnlichkeit hat. Man kann auch das Stimmorgan als eine Art Zungenpfeife, vgl. §. 190, betrachten. Die Höhe und Tiefe der Töne hängt hauptsächlich von der stärkern und schwächern Spannung der Stimmbänder ab; aber auch von dem stärkern oder schwächern Blasen des Winds, der aus der Luftröhre kommt. Zwischen dem künstlichen Apparat und dem eigentlichen Stimmorgan findet der Unterschied statt, dass das Ansatzrohr beim ersten einen viel merklicheren Einfluss hat als bei letzterem. Daher auch das Mund- und Nasenrohr wenig Einfluss auf die Quantität des Tones haben, wohl aber durch die Resonanz seine Qualität verändern. Beim Stimmgeben verschliesst gewöhnlich das *Gaumensegel*, indem es sich an die hintere Wand des Schlundes anlegt, den obern Theil des letztern; also auch die vor diesem liegenden zwei Nasenhöhlen. Ist der Verschluss nicht vollständig, so schwingt auch die Luft der Nasenhöhlen mit und verursacht den Timbre des Nasentons. Das Sprechen ist die zusammengesetzte Thätigkeit aller obigen Organe, in Verbindung mit den Bewegungen der Zunge und der Lippen.

Fig. 271.

Die Stimmen vom grössten Umfange enthalten selten mehr als zwei

Octaven an vollen und richtigen Tönen; doch umfasste z. B. die Stimme der *Catalani* drei und eine halbe Octave. **Männerstimmen erzeugen** im Allgemeinen Schallwellen von 6 bis 12 Fuss, die der Frauen von 1 ½ bis 3 Fuss.

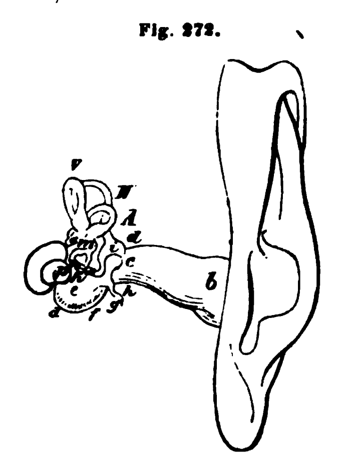
Bei den meisten Säugethieren ist das Stimmorgan dem menschlichen ähnlich, den Wiederkäuern fehlen aber die obern Stimmbänder. Dafür hat der Affe, besonders der Brüllaffe, einen häutigen Sack unter dem Zungenbein, der durch Resonanz den Ton verstärkt. Bei den Vögeln ist das äusserst künstliche Stimmorgan am untern Theil der Luftröhre. Manche Insekten, wie die Grillen, Cicaden und Heuschrecken bringen durch die Reibung harter Körper und Flügeltheile Töne hervor.

Garcia hat einen Kehlkopfspiegel angegeben, der in den Schlund eingeführt, es möglich macht, auch während der Thätigkeit des Stimmorganes den Kehlkopf und die Stimmbänder zu untersuchen.

§. 201.

Das Gehörorgan, dessen wesentliche Theile in Fig. 272 abgebildet sind, theilt man in das *äussere* und *innere*. Das erstere besteht aus der *Ohrmuschel*, deren Krümmungen den Zweck haben, den Schall in jeder Richtung aufzufangen, zu verstärken, und durch den Gehörgang *b c* zu dem innern Hörwerkzeug zu leiten. Dieses hat seinen Sitz in dem *Labyrinth VHAp*, denn in diesem verbreitet sich der Gehörnerv in vielen Zweigen. Es besteht aus einer häutigen Substanz, die mit einer wässerigen Flüssigkeit angefüllt ist, und liegt in der festesten Masse des Schläfeknochens. Man unterscheidet daran den *Vorhof m*, die *drei halbkreisförmigen Kanäle VHA* und die *Schnecke p*. Der Vorhof enthält bei *m* eine kleine Oeffnung, welche durch ein feines Häutchen geschlossen ist und das *ovale Fenster* heisst. Nahe dabei ist eine rundlich dreieckige Oeffnung, die gleichfalls durch ein Häutchen bedeckt ist. Diese heisst das *runde Fenster*. Durch diese beiden Fenster steht das Labyrinth in Verbindung mit einer vier Linien weiten, unregelmässig elliptischen Höhle, der *Paukenhöhle*. Zu dieser führt aus dem Schlunde die *Eustachische Röhre*, aus dem äussern Ohr der *Gehörgang*. Letzterer ist von ihr durch das in schiefer Richtung *d d* gegen seine Achse liegende *Paukenfell e* getrennt. Das Pauken- oder Trommelfell ist eine feine, durch einen Muskel, den *Spanner*, nach innen gespannte Membrane. Mit dem Trommelfell ist ein kleiner Knochen *c g k* verwachsen, welcher der *Hammer* heisst. Er bildet mit den andern Gehörknöchelchen, dem *Ambos i k*, dem *linsenförmigen Knöchelchen k* und dem *Steigbügel m n* einen Mechanismus, welcher Aehnlichkeit mit dem Hebelsystem eines Klaviers hat.

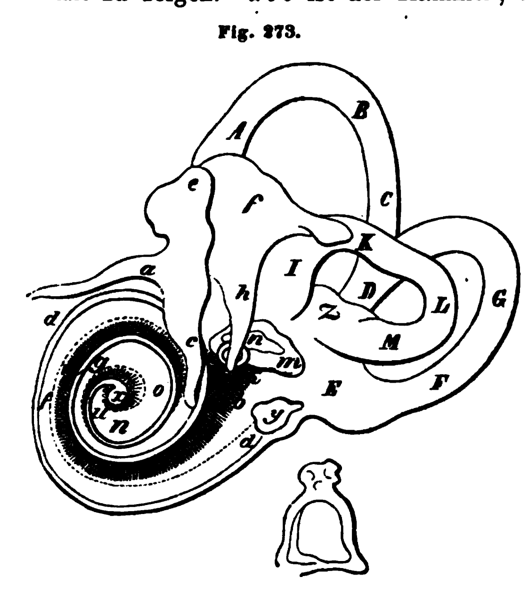
Fig. 272.



Die Gehörknöchelchen vermitteln Verschiedenheiten in der Spannung des Trommelfells. Ist diese zu gross, so hören wir schlechter, besonders die tiefen Töne. Das Trommelfell aber kann vermöge seiner Verbindung mit den Gehörknöchelchen nicht einseitig schwingen. Der

Steigbügel ist an das ovale Fenster angewachsen. In der Figur 273 ist das Labyrinth in vierfacher Grösse und darunter der Steigbügel besonders abgebildet. Die Schnecke ist durchgeschnitten, um ihre innern Kanäle zu zeigen. *aec* ist der Hammer, *e* sein Kopf, *fhi* der Ambos, *i* das linsenförmige Knöchelchen, welches auf das Knöpfchen des zur Ebene der Zeichnung senkrecht gedachten Steigbügels drückt. *m* ist der hintere oder dickere Schenkel des Steigbügels, der dünnere Schenkel ist links davon. *n* ist das Grundstück des Steigbügels, welches in das ovale Fenster passt. *y* ist das runde Fenster. Man sieht dabei die Dicke der Schaale *dd*, aus der die Schnecke besteht, welche von *b* bis *x* zwei und eine halbe Windung macht. Das punktirte *Spiralblatt bf* theilt das Rohr der Schnecke in zwei Gänge oder Treppen. Die eine, welche am ovalen Fenster anfängt oder *bm*, heisst die *obere Vorhofstreppe*, die andere *dfgu* fängt am runden Fenster an und heisst die untere oder *Paukentreppe*. *x* ist der Mittelpunkt der Schnecke, wo sich die beiden Treppen vereinigen. *ABCD* ist das mittlere oder vordere Bogenrohr, *EFG* das hintere oder grössere, welches bei *D* sich mit dem mittlern vereinigt. *IKLM* ist das äussere oder kleine Bogenrohr. Die Ebenen dieser drei Kanäle bilden rechte Winkel mit einander, als wenn sie die drei Dimensionen nach Länge, Breite und Höhe vertreten müssten. Bei *A*, *I* und *E* sind die elliptischen Erweiterungen der Bogenröhren. Der Gehörnerv theilt sich, indem er in's Labyrinth eintritt, in vier Aeste. Der Hauptast geht an die siebförmige Basis der Schnecke, dringt durch die Kanälchen derselben ein und verbreitet sich darin vom Centrum nach der Peripherie in den feinsten, diesem Sinneswerkzeug ganz eigenthümlichen Verzweigungen. Die drei andern Aeste begeben sich an den Vorhof und die elliptischen Erweiterungen, und verbreiten sich im Vorhof.

Fig. 273.



Das Hören erfolgt nun wahrscheinlich auf folgende Art:

Wird das Trommelfell in schwingende Bewegung versetzt, so dringt der Steigbügel abwechselnd in das ovale Fenster, und bringt dadurch in dem Wasser des Labyrinths ähnliche Schwingungen hervor. Diese können sich den überall verbreiteten Nervenfasern mittheilen, und indem sie durch diese dem nervösen Centralorgan im Gehirn mitgetheilt werden, gelangen sie zum Bewusstsein. Erst dadurch wird der Schall was er ist, sonst bleibt er Schwingung. Diess gilt von allen Sinneswahrnehmungen. Ohne Affection des Centralorgans, ohne Aufmerksamkeit keine

Wahrnehmung. Auch ist jeder Eindruck auf das Gehörorgan diesem spezifisch eigen. So erzeugt jeder Reiz der Gehörnerven, wenn er auch nicht von äusseren Schwingungen hervorgebracht wird, Lärm, ein Druck auf den Sehnerv die Vorstellung von Funken. Da man auch bei durchlöchertem Trommelfelle hört, so ist es offenbar, dass die in der Paukenhöhle eingeschlossene Luft ihre Schwingungen durch das runde Fenster in das Labyrinth, nur schwächer, fortpflanzt. Auf dieselbe Art kommen auch die durch die festen Theile des Kopfes bis zu der Paukenhöhle fortgeleiteten Schwingungen einer Stimmgabel oder dergleichen zu unserem Bewusstsein. Ist die Haut, welche das runde Fenster verschliesst, verletzt, und der Steigbügel, welcher das ovale Fenster verschliesst, losgerissen, so tritt völlige Taubheit ein. Inzwischen hat auch der Taube noch eine Art Gefühl für den Schall, welches in einem Schwirren der Haut besteht.

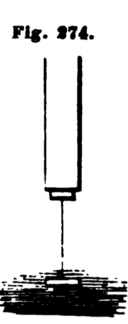
Auf dem Spiralblatt hat *Corti* folgende merkwürdige Entdeckung durch das Mikroskop gemacht. Tausende von kleinen Plättchen, welche wie Klaviertasten regelmässig neben einander liegen, stehen mit ihrem einen Ende mit den Fasern des Gehörnervs in Verbindung, mit dem andern hängen sie an dem ausgespannten Spiralblatt. Auch in dem Vorhof, wo die Nerven sich auf häutigen Säckchen verbreiten, die im Wasser schwimmen, sind elastische Anhängsel der Nervenenden entdeckt worden, welche die Form steifer Härchen haben. *Helmholtz* hält es für möglich, dass alle diese kleinen Organe auf einen bestimmten Ton gestimmt sind und mitschwingen, wenn dieser gehört wird. Ist der Ton zusammengesetzt, so würde er also durch das Gehörorgan zerlegt, indem nur diejenigen Theile mitschwingen, die den einzelnen Tönen entsprechen, wie bei dem in §. 164 beschriebenen Versuch mit dem Klavier.

Nach *Fechner* hören die meisten Leute mit dem linken Ohr deutlicher, als mit dem rechten; dagegen nimmt nach *Fessel* das rechte Ohr denselben Ton als einen höhern wahr, wie das linke. Für denselben Ton, durch ein und dasselbe Ohr gehört, stumpft sich die Empfindung nach *Dove* ab. Dreht man daher *eine* von zwei gleichtönenden, vor beide Ohren gehaltenen Stimmgabeln, so hört man den Ton bald rechts bald links, indem beim Drehen nach §. 196 der Ton nach jeder Vierteldrehung verschwindet, das betreffende Ohr also ausruht und besser hört, wenn vor ihm der Ton wieder entsteht.

Auch unter dem Wasser hört man; ist noch Luft in dem äussern Gehörgang, so empfindet man den Schall als etwas Aeusseres; kann aber nur unterscheiden, ob der Schall von rechts oder links herkommt. Ist aber der Gehörgang auch mit Wasser angefüllt, so kann man nach *E. Weber* keine Richtung mehr unterscheiden, indem man den Schall nur als Eindruck im Innern des Ohrs wahrnimmt.

J. Müller hat die Wirkung des Trommelfells und der Gehörknöchelchen durch eine in Fig. 274 abgebildete fusslange Orgelpfeife nachgeahmt. Ueber ihr unteres offenes Ende ist eine Membrane gespannt; auf diese ein Kork mit einem Stäbchen geleimt. An dem untern Ende des letztern ist ein Korkstück befestigt, welches in's Wasser eingetaucht wird wenn die Pfeife tönt. Verstopft man die Ohren und bringt man eine Glasröhre in's Wasser und in die Richtung der Schwingungen, so leitet dieselbe den Schall sehr deutlich zum Gehör, wenn man sie an den Schläfeknochen hält. Auch hat er damit bewiesen, dass durch das Trommelfell und die Gehörknöchelchen der Schall viel stärker wirkt, als durch die Membrane des runden Fensters. Ebenso zeigt er, dass die *Eustachische* Röhre dazu bestimmt ist, die Luft auf beiden Seiten des Trommelfells gleichdicht zu erhalten, damit keine Spannung desselben entsteht, indem dadurch seine Wirkung geschwächt wird. Dass die Spannung des Trommelfells einen grossen Einfluss auf die Deutlichkeit des Schalls hat, kann man durch ein Hörrohr bemerklich machen, indem man eine Haut darüber spannt und diese bald mehr, bald weniger anzieht.

Fig. 274.



VI. Abschnitt.

Vom Lichte.

A. Vom Lichte überhaupt.

§. 202.

Das *Licht* ist die Ursache der Helle. Ueber seine eigentliche Natur hat man zwar noch keine Gewissheit, und darum gründen sich alle Versuche zur Erklärung der Lichterscheinungen auf Hypothesen. Unter diesen stand die *Emanations-* oder *Corpuscular-Theorie* lange Zeit im Ansehen; jetzt aber wird fast allgemein und zwar mit Recht die *Vibrations-* oder *Undulations-Theorie* den Erscheinungen zu Grunde gelegt.

§. 203.

Nach der *Emanations-Theorie* ist das Licht eine Materie, welche aus ungemein feinen Theilchen besteht, die von den leuchtenden Körpern mit sehr grosser Geschwindigkeit fortgestossen werden. Diese Theilchen sind zwar dem allgemeinen Gesetze der Trägheit, aber, wegen ihrer Feinheit, nicht auch dem der Schwere unterworfen. Sie unterscheiden sich von einander durch ihre Masse, durch ihre Verwandtschaft zu andern Körpern und durch die Verschiedenheit des Verhältnisses ihrer anziehenden und abstossenden Kräfte. Farbiges Licht entsteht dadurch, dass diejenigen Theilchen, welche mehr Trägheit haben als andere, von jenen getrennt erscheinen. Im rothen Lichte haben sie die grösste, im violetten die geringste Trägheit. Seit *Newton*, dem man die meisten Entdeckungen über das Licht zu verdanken hat, diese Theorie aufstellte, ist sie durch viele Zusätze immer verwickelter geworden, weil beinahe jede neuere und wichtige Entdeckung über die Eigenschaften des Lichtes eine Vermehrung der Eigenschaften jener materiellen Theilchen nothwendig machte. Dessenungeachtet lassen sich, auch in ihrer jetzigen Gestalt, noch viele Lichterscheinungen nicht genügend dadurch erklären.

§. 204.

Nach der *Undulations-Theorie* ist der ganze Raum von einem sehr feinen und elastischen Mittel erfüllt, welches man den *Aether* nennt. (Vergl. §. 13). Der Aether durchdringt alle Körper, und ist wegen seiner ausserordentlichen Feinheit den Gesetzen der Schwere nicht unterworfen; er widersteht auch der Bewegung der *dichteren* Weltkörper nicht merklich, wahrscheinlich aber bewirkt er an den Kometen von geringerer Masse eine Verzögerung ihres Laufes, wie *Encke* besonders an dem nach ihm benannten Kometen nachgewiesen hat, indem er fand, dass seine 3 $^1/_3$jährige Umlaufszeit seit 1786 regelmässig um $^1/_9$ Tag kürzer geworden ist. Ein anderer Komet, der *Biela*'sche, hat sich sogar am 25. Januar 1846, wahrscheinlich in Folge des Aetherwider-

standes, in zwei Stücke getheilt. Der Aether befolgt die Gesetze der Trägheit und der Wellenbewegung elastischer Flüssigkeiten, und ist, wie diese, einer Ab- und Zunahme seiner Elastizität und Dichte unterworfen. Ein leuchtender Punkt ist ein solcher, welcher den Aether in schwingende Bewegung versetzt. Wenn sich diese Bewegung bis zur Netzhaut unseres Auges fortpflanzt, so bewirkt sie dort die Vorstellung des *Sehens*. Die Möglichkeit, dass ein Theil der Aetherschwingungen *nicht* bis zur Netzhaut dringt, entspricht *der* Erfahrung, dass farbiges Licht einige Körper durchdringt, andere nicht.

Die Schwingungen des Aethers erfolgen der Theorie nach sowohl in der Richtung der Fortpflanzung der Wellen, als auch in einer dazu senkrechten Ebene. Erstere verschwinden jedoch hinsichtlich der Wirkung auf unser Auge gegen letztere, und es bleiben also nur die zum Lichtstrahl senkrechten Schwingungen übrig. Dadurch unterscheidet sich das Licht wesentlich vom Schall.

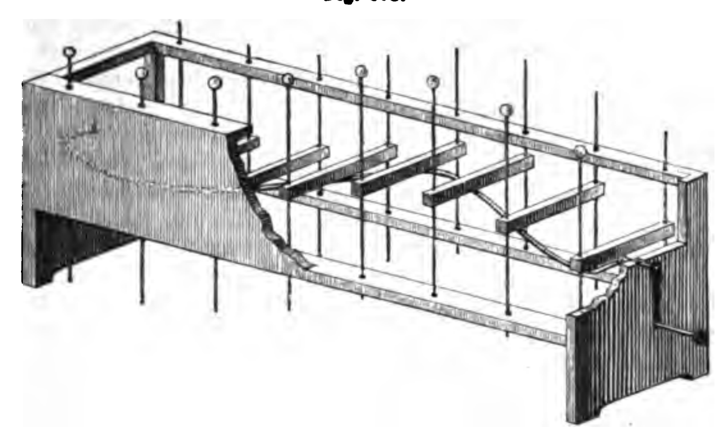
So wie es hohe und tiefe Töne gibt, so gibt es auch grosse und kleine Schwingungszahlen des Aethers. Rothes Licht z. B. ist solches, welches durch mehr als halb so viele Schwingungen des Aethers entsteht, als violettes Licht. Die Wellen des rothen Lichtes haben darum fast die doppelte Länge von den Wellen des violetten, da auch im freien Aether die Fortpflanzung aller mit gleicher Geschwindigkeit geschieht. Die Schwingungen der Aethertheilchen können in geraden, zum Lichtstrahl senkrechten Linien erfolgen und nach allen dabei möglichen Richtungen gehen, oder sie können alle zu einander parallel sein und folglich in *einer Ebene* liegen. Im letzten Fall heisst das Licht *geradlinigt polarisirt*. Erfolgen sie in kreisförmigen oder elliptischen Bahnen, so ist das Licht *kreisförmig* oder *elliptisch polarisirt*. Die Oberfläche eines leuchtenden Körpers kann, wie die eines schallenden, Wellen von verschiedener Grösse erzeugen; darum besteht das Tages- oder zusammengesetzte Licht, wie eine Vielheit von Schallen, aus Licht von allen möglichen Farben und Polarisations-Richtungen. Das *einfachste Licht* ist solches, das nur *eine* Farbe zeigt oder aus Wellen von gleicher Länge besteht und *geradlinigt polarisirt* ist.

Diese Theorie, welche bei jedem einzelnen Abschnitte die nöthigen Erweiterungen erhalten wird, ist besonders von *Huyghens*, *Descartes* und *Euler* geschaffen und von *Young*, *Fresnel* und *Fraunhofer* fester begründet worden. *Cauchy* hat endlich in neuerer Zeit die wichtigsten Gesetze des Lichts aus den allgemeinen Gesetzen des Gleichgewichts für ein System materieller Punkte abgeleitet, welche durch anziehende und abstossende Kräfte auf einander wirken.

Um die Bewegung der Aethertheilchen beim einfachsten Licht zu versinnlichen, kann man ein langes Seil an dem einen Ende befestigen und an dem andern mit der Hand in solche Schwingungen versetzen, die Wellen erzeugen, welche alle in *einer* Ebene liegen. Jeder Theil des Seils bewegt sich alsdann nach den Pendelgesetzen mit zu- und abnehmender Geschwindigkeit hin und her. Die Theile, welche der Hand näher liegen, beginnen ihre Bewegung früher als die entferntern, und die Länge einer Welle ist wieder der Raum, um welchen die schwingende Bewegung sich fortpflanzt, während ein Theilchen seine Schwingung vollendet. Noch anschaulicher wird aber diese Bewegung durch den in Fig. 275 abgebildeten Apparat:

Ein schraubenförmig gebogener, starker Eisendraht, welcher nur eine oder zwei Windungen macht, ruht mit den nach seiner Achse hin gebogenen Enden in zwei horizontalen Lagern, und kann in diesen mittelst der in der Figur sichtbaren

Fig. 275.



Kurbel gedreht werden. Wenn der Cylinder, um welchen der Schraubendraht gewunden wurde, noch vorhanden wäre, so müsste seine Achse mit der Achse der Kurbel zusammenfallen. Auf diesem Schraubendraht ruhen vermöge ihres Gewichtes horizontale Stäbe von Holz, deren Länge etwas mehr beträgt, als der Durchmesser des obigen Cylinders oder der Schraube. Diese senken sich und werden gehoben, so wie der Schraubendraht gedreht wird. Sie müssen desshalb durch die an ihnen befestigten vertikalen Drähte, welche, wie die Figur zeigt, oben und unten in horizontalen Holzrähmchen sich verschieben lassen, in ihrer vertikalen Schwingungsebene erhalten werden. Um diess leichter übersehen zu können, ist ein Theil der vordern Wand, die durch ein dünnes Brettchen gebildet ist, weggelassen. An den vertikalen geraden Drähten, welche sich in den vordern horizontalen Rähmchen bewegen, sind oben weisse Glasperlen befestigt, und diese stellen die Aethertheilchen vor. Dreht man die Kurbel und damit den Schraubendraht, so beschreibt jeder Punkt desselben einen Kreis; das auf ihm ruhende horizontale Holzstäbchen aber macht bei jeder Umdrehung eine geradlinigte Pendelbewegung auf- und abwärts. (Vgl. §. 76.) Es muss also auch jede der an den vertikalen Drähten befestigten Glasperlen wie ein oscillirendes Aethertheilchen sich auf- und abwärts bewegen. Die Perlen, welche z. B. gleiche Geschwindigkeit aufwärts haben, sind um eine *ganze* Wellenlänge von einander entfernt; diejenigen, die gleiche Höhe haben, haben auch gleiche, aber entgegengesetzte Geschwindigkeiten. Der gedrehte Schraubendraht selbst gibt eine Vorstellung von kreisförmig polarisirtem Licht; indem jeder Punkt desselben einen Kreis beschreibt, und diejenigen Punkte, die um eine Schraubenwindung von einander liegen, den Abstand einer Wellenlänge haben. Man kann die kreisförmige Polarisation aber auch durch obiges Seil versinnlichen, indem man mit der Hand kreisförmige Schwingungen macht und diese dadurch dem Seil mittheilt. Je schneller die Umdrehungen sind, desto kürzer werden die Wellen. Wenn man am obigen Apparat Häkchen anbringt, durch welche die Holzstäbchen alle in gleicher Höhe erhalten werden, so haben auch alle Glasperlen einerlei Höhe und liegen also in einer geraden Linie. Diess ist ihr Gleichgewichtszustand. Wird aldann die Kurbel gedreht, und dadurch zuerst das erste, dann das zweite Häkchen ausgehängt, und so jedes folgende, wie die Umdrehung fortgesetzt wird, so nehmen nach und nach alle an der oscillirenden Bewegung Theil, und man hat die Entstehung der Lichtwelle versinnlicht. Die Zeichnung dieser Häkchen ist weggelassen, weil sie jeder Mechaniker leicht sich vorstellen kann.

§. 205.

Viele Körper besitzen die Eigenschaft, den Aether fortwährend in schwingende Bewegung zu versetzen, und heissen darum *selbstleuchtend;* dahin gehören die Sonne, die Fixsterne, glühende und phosphorescirende Körper, ein brennendes Licht u. s. w. Andere werden nur durch Zu-

rückwerfung der Lichtwellen eines leuchtenden Körpers sichtbar, und heissen darum *dunkle* Körper, wie z. B. die Planeten, deren Monde und wahrscheinlich alle Kometen.

Ueber die Ursachen der Wellenerregung des Aethers durch die Oberfläche der Sonne und der Fixsterne kann man nichts Gewisses angeben, doch ist höchst wahrscheinlich, dass es weissglühende, von einer Dampfatmosphäre umgebene Körper sind, die einen Theil des ausgestrahlten Lichtes absorbirt. Es ist bekannt, dass es Fixsterne von bläulichem, violettem und grünlichem Lichte gibt, und nach *Sondhaus* ist die Sonne weiss und violett gesprenkelt, wenn man ihr Bild mittelst eines achromatischen Objectivglases auf eine Gypsfläche projicirt und in gehöriger Entfernung dieses durch ein Fernrohr ohne Blendung betrachtet. Von glühenden Körpern leuchtet am stärksten der Kalk, wenn er nach *Drummond* in einen Strom von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas gebracht wird. Dieses ausserordentlich starke Licht wird jetzt bei Mikroscopen und Leuchtthürmen und zu Signalen benutzt. Viel stärker ist das elektrische Licht. Ein Draht von Magnesium von nur $^1/_3$ Milim. Dicke brennt über einer Weingeistlampe so hell als 75 Stearinkerzen.

Die Phosphorescenz hat nach den zahlreichen Versuchen von *Desaignes*, *Heinrich* und *Osann* verschiedene Ursachen. Durch *Erwärmen* wird Flussspath, besonders der Chlorophan, der Diamant und mancher andere Körper leuchtend. Wird der Chlorophan in einem Reagentiengläschen unter Oel erhitzt, so behält er sein starkes Leuchtvermögen lange Zeit bei. Durch Aussetzung an das Sonnenlicht oder durch *Insolation* werden diese Körper ebenfalls leuchtend, und der Flussspath bleibt es oft wochenlang. Hierher gehören auch der *Bologneser Leuchtstein, Canton's, Balduin's* und besonders *Becquerel's* Phosphor. *Wach* erhielt durch folgendes Verfahren Phosphore, deren blaues Licht man bei Tage im Zimmer wahrnahm. Er bestrich weissgebrannte Austerschaalen nur dünn mit einer Auflösung von künstlichem Schwefelarsenik in Ammoniak, bestreute sie nach dem Eintrocknen mit Schwefel und glühte sie im verschlossenen Tiegel. Diese Körper leuchten auch unter Wasser, Oel u. dgl. Weisses Papier, Eierschaalen und Austerschaalen werden ebenfalls durch Insolation leuchtend. Das violette und blaue Licht ist dabei wirksamer, als das rothe, doch strahlt der phosphorescirende Körper nicht dasselbe Licht aus, welchem er ausgesetzt war. *Wilson* hat am Leuchtstein und *Riess* am Diamant bemerkt, dass die durch Insolation erregte Phosphorescens durch das rothe Licht geschwächt wird. Auch durch einen *elektrischen Schlag* werden manche Körper leuchtend; der Chlorophan zeigt an der getroffenen Stelle einen smaragdgrünen, leuchtenden Streif. Durch *organische* und *chemische* Veränderungen entsteht gleichfalls Phosphorescenz, wie man an faulem Holze und an Seefischen, deren Fäulniss beginnt, sehen kann. Doch ist das Wurzelholz mancher Bäume schon vorher leuchtend. Durch Auswaschen faulender thierischer Stoffe, wie des Rogens der Häringe u. dgl. lässt sich dem Wasser die leuchtende Kraft ertheilen. Alle diese Erscheinungen hören nach *Hankel* im vollkommen luftleeren Raum auf. *Leuchtende Thiere* sind: das kriechende und das fliegende Johanniswürmchen, der Surinamische Laternenträger, die Medusen im Meerwasser u. s. w. Ebenso gehört hierher das Leuchten einiger Pflanzen. Auch *durch Aenderungen*

in der Dichtigkeit und im *Zusammenhange der Körper* werden diese zuweilen leuchten; so z. B. heftig zusammengepresste Luft, besonders Sauerstoffgas und Wasser. Zucker leuchtet beim Zerbrechen, Bergkrystall und andere kieselartige Steine beim Reiben. Ueber das Licht, welches zuweilen bei der Krystallisation sich zeigt, hat *H. Rose* genaue Untersuchungen angestellt und gefunden, dass es nur bei dem Uebergang aus dem unkrystallinischen in den krystallinischen Zustand des Körpers entsteht. Nach ihm kann man stets ein starkes Leuchten hervorbringen, wenn man 2 bis 3 Quentchen arsenichte Säure von glasartiger Beschaffenheit in einem Kolben von weisem Glase mit 3 Loth nicht rauchender Salzsäure und 1 Loth Wasser übergossen, in's Kochen bringt, und möglichst langsam durch Verminderung der Flamme erkaltet. Die Erzeugung von jedem entstehenden Krystall ist mit einem Funken begleitet; durch Schütteln entstehen viele zugleich und bringen ein lebhaftes Leuchten hervor.

§. 206.

Die chemische Einwirkung des Lichtes, besonders des Sonnenlichtes, ist von grossem Einflusse, wie man schon an der Farblosigkeit der im Dunkeln wachsenden Pflanzen sieht. Sie erlangen ihre grüne Farbe und ihr kräftiges Wachsthum erst im Sonnenlichte, und wenn sie in Zimmern gezogen werden, so strecken sie die Zweige nach der Oeffnung hin, durch welche Licht einfällt. Füllt man einen Glascylinder mit frischen Blättern und kohlensaurem Wasser, so wird im Sonnenlicht Sauerstoffgas frei. Auch Thiere bedürfen des Lichtes zu ihrem vollkommenen Wohlergehen; nur der Same, aus welchem die organischen Körper entstehen, muss sich im Dunkeln entwickeln.

Die allgemeine chemische Wirkung des Lichtes ist, dass es aus verschiedenen oxydirten Körpern den Sauerstoff wieder ausscheidet. Reine Salpetersäure verliert darin einen Theil ihres Sauerstoffs und wird dadurch gelb, Chlorsilber wird im Lichte geschwärzt, und Gold aus manchen seiner Auflösungen niedergeschlagen. Chlorgas und Wasserstoffgas verbinden sich im Lichte unter Verpuffung mit einander. Auch ihre allmälige Verbindung im schwachen Tageslicht wird befördert, wenn sie vorher nur wenige Augenblicke dem hellen Lichte ausgesetzt waren. Besonders empfindlich ist diese Gasmischung, wenn sie auf elektrolytischem Wege, also im richtigen Mischungsverhältniss erzeugt ist. Durchsichtiger Phosphor wird im Licht opak und amorph.

Aus Chlorwasser entwickelt sich im Sonnenlicht das Sauerstoffgas. Im Finstern und in der Wärme geschieht diess nicht ohne vorhergehende Einwirkung des Lichts. *Draper* hat gezeigt, dass diejenigen Strahlen desselben, welche diese Veränderung bewirken, nachher dem durch die Flüssigkeit gegangenen Lichte fehlen.

Die ersten genauen Untersuchungen über die chemischen Wirkungen des Lichtes sind aber von *Bunsen* und *Roscoe.* Das auf elektrolytischem Wege erzeugte Gemenge von gleichen Theilen Chlor und Wasserstoffgas wurde der Wirkung verschiedener Lichtarten ausgesetzt, und es ergab sich, dass die Verbindung dieser Gase im Anfang sehr langsam ist, dann schneller vor sich geht und endlich ein Maximum der Schnelligkeit erreicht. Es findet also Widerstand bei der Verbindung statt, welcher

durch längere Einwirkung des Lichtes vermindert wird. Die Ursache dieser Widerstandsverminderung wird die *photochemische Induction* genannt. Nur ein Theil des Lichtes wirkt chemisch und die Körper lassen diese chemischen Strahlen bald leicht, bald nur schwer durch und heissen dann *diacheman* oder *acheman*. Durchstrahlt das Licht einen Körper ohne chemische Wirkung, so wird ein Theil der chemischen Strahlen ausgelöscht, wie z. B. im Crownglas, und erzeugt Wärme. Diese Auslöschung oder optische Extinction der chemisch wirkenden Strahlen erfolgt proportional der Intensität des Lichtes. Auch wird ein diachemaner Körper weniger durchdringlich für chemische Strahlen, je dichter eine damit gemischte färbende Substanz ist.

Die chemischen Strahlen verschiedener Lichtquellen erleiden verschiedene Auslöschungen beim Durchgang durch dasselbe Mittel. So muss das Steinkohlengaslicht, um durch Extinction auf $\frac{1}{10}$ der Intensität seiner chemischen Strahlen reducirt zu werden, eine Chlorgasschichte von 173 Millimeter Dicke bei 0° und 76 Centimeter Barometerstand durchlaufen, während das Morgenlicht vom Zenith eines vollkommen wolkenlosen Himmels nur eine Schichte Chlor von 45 Mm. zu durchlaufen braucht, um auf $\frac{1}{10}$ geschwächt zu werden, und das Licht des Nachmittags nur eine Schicht von 20 Mm. In diesem Fall wurde kein Licht auf die photochemische Wirkung verwendet, weil das Chlorgas unverändert blieb. Beim Durchgang durch obige Mischung von Chlor und Wasserstoffgas werden aber ausserdem auch chemische Strahlen zur Verbindung dieser Gase verbraucht, und es geht darum eine äquivalente Menge Licht verloren. Nach den angestellten Messungen müsste, um blos durch die geleistete chemische Arbeit das Licht auf $\frac{1}{10}$ seiner ursprünglichen Stärke auszulöschen, dasselbe durch das Chlorknallgasgemisch einen Weg machen, beim Steinkohlengaslicht von 723 Mm., beim Morgenlicht vom Zenith des wolkenlosen Himmels von 377 Mm. Die Verschiedenheit der Extinction der chemischen Strahlen zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten, die aus den weitern Arbeiten hervorgeht, zeigt, wie wichtig der Einfluss derselben auf viele andere photochemische Erscheinungen der Pflanzenwelt, der Photographie u. s. w. sein muss. Die Zahl 1, dividirt durch die Länge des Weges in Millim., die bei den obigen Messungen die chemischen Strahlen in einer Materie durchlaufen müssen, um auf $\frac{1}{10}$ ihrer ursprünglichen Stärke reducirt zu werden, heisst der *Extinctions-Coëfficient*.

Das Bleichen beruht darauf, dass sich unter Einwirkung des Lichts der Sauerstoff mit dem im Wasser unlöslichen Farbstoff des Garns verbindet, wodurch dieser löslich wird. Mehrere Fälle, in denen der Sauerstoff unter Einfluss des Lichtes sich mit andern Körpern verbindet, hat *Schönbein* entdeckt; so wird z. B. das braune Schwefelblei in dem Sonnen- und Tageslicht in schwefelsaures Bleioxyd verwandelt, welches weiss ist. Papier, mit Schwefelblei getränkt, kann daher zu Lichtzeichnungen gebraucht werden.

Manche Farbenverwandlungen stehen mit dem Chemismus in einer merkwürdigen Verbindung. Calcinirt man z. B. schwefelsaures Kupferoxyd, so erhält man ein schmutzig-weisses Pulver; im Augenblicke aber, wo es mit Wasser in Berührung kommt, färbt es sich wieder blau, indem sich Krystalle bilden, deren Entstehung besonders schön unter dem Mikroscope zu beobachten ist. Umgekehrt aber hebt das Wasser die blaue Farbe des concentrirten schwefelsauren Molybdäns auf. Andere Körper, wie z. B. Mennige, Zinnober, rothes Quecksilberoxyd etc. ändern ihre Farbe, wenn sie erhitzt werden, und nehmen sie nach dem Erkalten wieder an. Salpetrigsaures Gas hat eine strohgelbe Farbe, und wird, wenn man es in einer zugeschmolzenen Glasröhre erhitzt, erst blutroth, und zuletzt undurchsichtig und schwarz. Bei manchen dieser Erscheinungen ist der Einfluss der Wärme unverkennbar, doch lässt er sich bei andern nicht nachweisen, indem z. B. gerade das violette Licht am wenigsten Wärme erregt. Die chemische Wirkung des farbigen Lichtes ist für dieselbe Farbe, aber verschiedenen Ursprungs, oft nicht gleich; so wird nach den Versuchen der *Miss Sommerville* Chlorsilber nicht geschwärzt, wenn das Licht durch ein dünnes Plättchen blassgrünen Glases oder Glimmers gegangen ist. Grüner Smaragd dagegen hält die chemischen Strahlen nicht ab. Am meisten Durchdringlichkeit für die chemischen Strahlen zeigen Steinsalz, weisses, blaues und violettes Glas und Bergkrystall.

Diese chemischen Wirkungen des Lichtes hat man als einen Einwurf gegen die Undulationstheorie betrachten wollen. Wenn man aber annimmt, dass es eine Verwandtschaft zwischen dem Aether und den Körpern gebe, und dass diese, so wie die zur chemischen Verbindung zweier Körper nothwendige, regelmässige Lage ihrer Atome durch die schwingende Bewegung befördert werde, so lässt sich diese Einwirkung verstehen. Da, wo durch die Interferenz die Wirkungen zweier Wellensysteme sich aufheben, findet nach *Arago* auch keine Schwärzung des Chlorsilbers statt.

§. 207.

Das Licht bewirkt auf der Oberfläche der Körper gewisse Veränderungen, welche desshalb von grosser Wichtigkeit sind, weil sie uns zum Beweise dienen, dass da, wo sie eingetreten sind, eine Einwirkung des Lichtes stattgefunden hat.

Besonders leicht sind diese Erscheinungen wahrzunehmen an Körpern mit wohl polirten Oberflächen, wie Silber, Glas, Gold und andern Metallplättchen; aber auch am Holz, Elfenbein, Achat u. s. w. Es werden daher bei den folgenden Versuchen immer frisch polirte und gereinigte Oberflächen vorausgesetzt. Legt man z. B. einen durchbrochenen Schirm auf eine Silberplatte, und lässt die Sonne mehrere Stunden darauf wirken, nimmt nachher den Schirm ab und behaucht die Platte, so schlagen sich nach völliger Erkaltung die Wasserdämpfe an den Stellen, welche von der Sonne beleuchtet waren, in grösserer Menge nieder als an den andern, und es zeigt sich ein deutliches Bild des Schirms. Ebenso ist es, wenn man die Platte in Quecksilber oder Joddämpfe bringt; nur ist die Erscheinung alsdann dauernd.

Hieraus und aus vielen ähnlichen Versuchen folgt das von *L. Moser*

entdeckte Gesetz: *Das Licht wirkt auf alle Substanzen, und man kann seine Wirkung durch alle Dämpfe prüfen, die an der Substanz adhäriren oder chemisch auf sie wirken.* Es ist also Condensirung der Dämpfe für das Licht, was das Thermometer für die Wärme. Auch der elektrische Funke, den man auf eine polirte Platte schlagen lässt, bringt, wie *Riess* schon längst gefunden hat, diese Erscheinung hervor.

Das empfindlichste Reagens für Licht hat aber *Daguerre* entdeckt. Wenn man im Dunkeln eine Silberplatte so lange über Jod, Chlor oder Brom-Jod hält, bis sie eine goldgelbe Farbe angenommen hat, und sie nachher dem Sonnen- oder Tageslicht aussetzt, so wird ihre Farbe immer dunkler und endlich schwarz. Bleibt die geschwärzte Platte längere Zeit dem Lichte ausgesetzt, so wird sie zuerst wieder grünlichgelblicht, dann hell-stahlgrau und nach vielen Tagen oft wieder dunkler. Das Silberjodid wird dabei zum Theil reducirt, und das in Pulverform ausgeschiedene reine Silber ist schwarz. Doch wird durch die dauerndste Wirkung des Lichts nur die äusserste Oberfläche des Silberjodids reducirt, obgleich die ganze Schichte sehr dünn ist; denn reibt man einen Theil der geschwärzten Platte vorsichtig mit Baumwolle und Bimssteinpulver ab, so kommt eine neue gelbe Fläche zum Vorschein, die nun abermals im Lichte geschwärzt wird, und diess kann man mehrmals wiederholen.

§. 208.

Den Gesetzen wellenförmiger Bewegung gemäss erfolgt die Fortpflanzung des Lichtes von dem leuchtenden Punkte nach allen Richtungen, und es müssen daher in einem gleichförmig elastischen Mittel alle Wellen Kugelschaalen um den leuchtenden Punkt bilden. Da nun alle Radien zur Oberfläche senkrecht sind, so müssen alle Radien Lichtstrahlen sein, und umgekehrt müssen alle *Lichtstrahlen* in einem gleichförmig-elastischen Mittel *gerade* Linien sein, welche von dem leuchtenden Punkte ausgehen. *Parallele* Lichtstrahlen gehören zu geradlinigten Wellen, oder zu solchen, welche von einem unendlich entfernten Punkte kommen. *Convergirend* heissen die Lichtstrahlen, wenn sie sich einander nähern, und *divergirend*, wenn sie sich von einander entfernen.

Eine leuchtende Fläche kann angesehen werden als zusammengesetzt aus unendlich vielen leuchtenden Punkten. Jeder Punkt erregt ein System von Lichtwellen, und darum muss eine unendliche Anzahl solcher Wellen entstehen. Diese Wellen pflanzen sich, wie die Schallwellen, unabhängig von einander fort, und modificiren sich nur da, wo sie sich durchschneiden. Ist daher ab, Fig. 276, eine leuchtende Fläche, welche Licht auf die undurchsichtige Wand mn sendet, und ist o eine sehr enge Oeffnung in der letztern, so wird r von den direkten Lichtwellen getroffen, welche von dem Punkte b ausgingen, und e wird von den direkten Wellen des Punktes a getroffen; alle Punkte zwischen r und e erhalten eben so direktes Licht

Fig. 276.

von den zwischen a und b liegenden Punkten. Es entsteht also in re ein verkehrtes Bild von ab. Hierauf beruht die dunkle Kammer von *Porta*, Fig. 277. Befindet sich in o (Fig. 276) eine zweite Oeffnung, so entsteht auf diese Art das verkehrte Bild eq. Während aber jetzt das Bild von b auf e fällt, wohin vorhin das Bild von a fiel, so müssen beide undeutlich werden. Hieraus sieht man, warum viele Oeffnungen oder eine einzige grosse Oeffnung z. B. ein Fenster auf diese Art kein deutliches Bild geben können. Wenn ab die Sonne ist, so beträgt der Winkel acb oder rce ohngefähr einen halben Grad. Das aufgefangene Sonnenbild wird darum ebenfalls um so grösser, je weiter die Wand pq sich von der Oeffnung c entfernt. Die zur Seite des Dreiecks rce liegenden Punkte erhalten nach Fig. 227, Seite 179 nur solches Licht, welches durch die Schwingung der in c befindlichen und der übrigen zur Seite der direkten Wellen liegenden Aethertheilchen entstanden ist, oder nur gebeugtes Licht. Dieses ist viel schwächer als das direkte Licht, aber sein Dasein wird aus den später zu erklärenden Beugungs-Phänomenen erkannt.

Fig. 277.

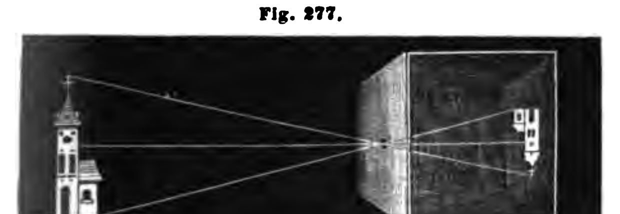
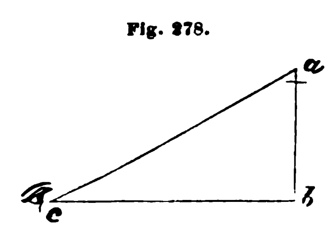


Fig. 278.

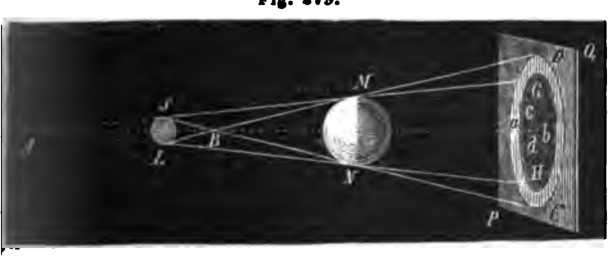


Denkt man sich in c, Fig. 278, ein Auge, so fallen von den Gränzen eines Objectes ab die Lichtstrahlen ac und bc in dasselbe. Der Winkel acb, welchen dieselben mit einander bilden, heisst der *Sehwinkel* oder die *scheinbare Grösse* des Gegenstandes. Dieser muss um so grösser sein, je näher ab dem Auge ist.

§. 209.

Von einer leuchtenden Fläche SL, Fig. 279, kann auf die Fläche PQ in den Raum zwischen MG und NH kein direktes Licht fallen, wenn MN ein undurchsichtiger Körper ist. Nur gebeugte und darum viel schwächere Lichtwellen können dahin gelangen; dagegen fällt in den Raum MGD Licht, welches von S und den ihm nahe liegenden Punkten kommt, aber kein Licht von L, und in den Raum HNC kann kein direktes Licht von S gelangen. Diesen Mangel an Licht bezeichnet man durch das Wort *Schatten*; $MGHN$ heisst der *Kernschatten*, DMG und HNC der *Halbschatten*.

Fig. 279.



§. 210.

Die Schwingungen des Aethers pflanzen sich mit einer ungeheuer grossen, aber doch messbaren Geschwindigkeit fort. Diese Geschwindigkeit ist für Lichtwellen von allen Weltkörpern die *nämliche*, wie die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung in der Luft für alle Töne, sie mögen hoch oder tief, stark oder schwach sein. Die Undulationstheorie hat dadurch ein grosses Uebergewicht über die Emanationstheorie, indem man nicht einsieht, warum alle Weltkörper die Lichttheilchen mit gleicher Geschwindigkeit abstossen sollen.

Die Geschwindigkeit des Lichtes hat *Römer* durch die Beobachtung gefunden, dass der Eintritt des ersten Jupiter-Mondes in den Schatten desselben um ohngefähr 14 Sekunden später gesehen wird, wenn die Erde sich von dem Jupiter in gerader Richtung entfernt. Da nun dieser Mond jedesmal nach nahezu 42 $^1/_2$ Stunden wieder in den Schatten des Jupiter tritt, und die Erde in dieser Zeit 590000 Meilen zurücklegt, so braucht das Licht zu diesem Raum 14 Sekunden, und legt also in einer Sekunde 42000 Meilen, genauer 41514 Meilen zurück. Diese Entdeckung wird vollkommen bestätigt durch die von *Bradley* in der Folge beobachtete *Aberration* des Lichtes. Um sich von dieser Erscheinung eine Vorstellung zu machen, denke man sich, *mn*, Fig. 280, sei ein Schiff, und *a* eine darauf gerichtete Kanone.

Fig. 280.

Wenn das Schiff stille steht, so wird eine von *a* kommende Kugel bei *b* und *c* Löcher in das Schiff schlagen, durch welche man nachher die Kanone sehen kann. Dasselbe findet statt, wenn sich das Schiff durch eine Bewegung zur Seite entweder der Kanone in der Richtung der beiden Pfeile nähert, oder in entgegengesetzter Richtung von ihr entfernt. Ist aber das Schiff in der Richtung von *m* nach *n* bewegt, und legt es in derselben Zeit den Weg *dc* zurück, in welcher die Kugel die Breite des Schiffes durchfliegt, so wird das zweite Loch nicht bei *c*, sondern bei *d* entstehen. Die Richtung der Linie *db* fällt also nicht mit der Richtung der Kanonenkugel zusammen; dennoch wird man auf dem Schiffe, wenn man sich der Bewegung desselben nicht bewusst ist, glauben, die Linie *db* gebe die Richtung der Kugel und den Ort der Kanone an. Der Winkel zwischen den Linien *db* und *bc*, welchen man die *Aberration* nennt, wird um so grösser, je grösser die Geschwindigkeit des Schiffes oder je kleiner die der Kugel ist, und desshalb kann man aus diesem Winkel und der Geschwindigkeit des Schiffes, die der Kugel finden. Setzt man für die Kanone einen Fixstern, für die Geschwindigkeit der Kugel die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des Lichtes, und für die Schnelligkeit des Schiffes die der Bewegung unserer Erde, so sieht man, wie aus der bekannten Geschwindigkeit der letztern und der Grösse des Aberrations-Winkels die Geschwindigkeit des Lichtes gefunden werden kann.

Die Aberration findet man aber, indem man den Stern an seinem wahren Orte beobachtet, wenn sich die Erde gerade gegen ihn bewegt oder sich von ihm entfernt, und diese Stellung mit derjenigen vergleicht, welche er zu haben scheint, wenn die Erde eine zur vorigen Richtung senkrechte Bewegung hat.

Der Aberrations-Winkel *cbd* beträgt nach *Struve* 20,4451 Sekunden und die Geschwindigkeit der Erde 4,11388 Meilen. Setzt man dafür die Linie *cd*, so ist die Geschwindigkeit des Lichtes oder $bc = cd . cot . cbd$ oder $= 4,11388 . cotg\ 20,4451'' = 41504$ Meilen. Diese Uebereinstimmung mit dem Obigen ist eines der schönsten Resultate ganz verschiedenartiger Beobachtungen und zugleich ein Beweis von der Bewegung unserer Erde.

Auch die Geschwindigkeit des irdischen Lichtes ist in der neuesten Zeit durch ein sinnreiches Verfahren von *Fizeau* gemessen, und nahezu eben so gross gefunden worden, wie oben.

Das Verfahren von *Fizeau* war folgendes: Er stellte zwei Fernröhren in einem Abstand von 8600 Meter so auf, dass man wechselseitig mit dem einen in das Objectivglas des andern sehen konnte. Zwischen dem Brennpunkt und dem Ocular des ersten Fernrohrs war ein unter 45° geneigtes Spiegelchen befestigt, welches das Licht einer hellen, zur Seite stehenden Lampe nach dem Brennpunkt des zweiten Fernrohrs warf. In diesem war ein zur Achse senkrechtes Spiegelchen befestigt, wodurch jenes Licht in das erste Fernrohr zurückgeworfen wurde und nun durch das Objectiv und Ocular in's Auge drang, nachdem es obigen Weg von 8600 M. zweimal gemacht hatte. Durch den Brennpunkt des ersten Fernrohrs gingen ferner die Zähne und Einschnitte einer Scheibe, welche durch ein Uhrwerk mit grosser Geschwindigkeit gedreht wurde. Das Licht der Lampe fiel von dem geneigten Spiegelchen auf diese Scheibe und wurde so dem zweiten Fernrohr in Zwischenzeiten zugesandt, welche der Zeit entsprachen, in der die Scheibe sich von einem Einschnitt bis zum nächsten drehte. Machte das Licht in derselben Zeit den Hin- und Herweg, so konnte der erste Lichtbüschel durch den zweiten Einschnitt in das Auge des Beobachters kommen, während wieder ein neuer Lichtbüschel von der Lampe und dem geneigten Spiegelchen in entgegengesetzter Richtung nach dem zweiten Fernrohr ging. Dieser musste dann zurückkommen, wenn der dritte Einschnitt vor dem Auge des Beobachters stand u. s. w. Diese schnell auf einander folgenden Lichtstrahlen erzeugten ein stehendes Bild auf der Netzhaut. War aber die Drehung nur halb so schnell, so musste gerade in dem Augenblick, in welchem das erste Lichtbüschel von dem zweiten Fernrohr zurückkam, ein Zahn vor dem Auge des Beobachters stehen. Es blieb also dunkel und konnte bei dieser Geschwindigkeit nie hell werden, weil auch alle folgenden Lichtportionen stets zurückkamen, wenn gerade ein Zahn der Scheibe vor dem Auge des Beobachters stand. So dienten also sowohl die Erleuchtungen wie die Verfinsterungen zur Bemessung der Zeit, in der das Licht den Raum von 8600 Meter zweimal gemacht hatte. Wurden die Geschwindigkeiten der Scheibe genau 2, 3, 4, 5 . . . mal so gross, als im ersten Fall, so musste ebenfalls Helle entstehen, und wurden sie 3, 5, 7 . . . mal so gross, als im zweiten Fall, so musste es dunkel bleiben. So dienten grössere Geschwindigkeiten der Scheibe zur Controle für die erste Messung und zur genaueren Zeitbestimmung.

Kennt man die Länge einer Aetherwelle, so kann man mit Hülfe des Vorhergehenden finden, wie viele Schwingungen jedes Aethertheilchen in einer Sekunde macht. Aus später zu erklärenden Versuchen hat man gefunden, dass die Länge einer Aetherwelle bei demjenigen rothen Lichte, welches durch die längsten Wellen entsteht, 0,00074 Millimeter beträgt; es gehen also 100000 Wellen auf 74 Millimeter, oder auf einen Meter 1351351 Wellen. Da nun eine deutsche Meile 7400 Meter hat, so gehen auf 42000 Meilen 420 Billionen Wellen, oder jedes Aethertheilchen schwingt beim rothen Lichte 420 billionenmal in einer Sekunde. Beim violetten Lichte schwingt es weniger als zweimal so oft. Der tiefste Ton, welchen das Auge empfindet, oder das rothe Licht, erfordert also ohngefähr 26 billionenmal so viele Schwingungen des Aethers, als der tiefste Ton, welchen das Ohr wahrnimmt, und

während die Anzahl der hörbaren Töne ohngefähr 9 Octaven einschliesst, sind die für's Auge fühlbaren Schwingungen des Aethers in weniger als einer Octave enthalten.

§. 211.

So wie die Schwingungen der Luft sich festen Körpern mittheilen, so pflanzen sich auch die Schwingungen des Aethers in festen Körpern fort, indem die zwischen seinen Atomen befindlichen Aethertheilchen in schwingende Bewegung versetzt werden. Wird diese Bewegung auf der entgegengesetzten Seite eines Körpers wieder fortgepflanzt, so heisst er *durchsichtig* oder *durchscheinend* nach den verschiedenen Graden der Stärke, mit welcher diese Fortpflanzung geschieht. Im entgegengesetzten Falle heisst ein Körper *undurchsichtig.* Vollkommen durchsichtige Körper gibt es nicht, weil schon ein Theil der Schwingungen an der Oberfläche des Körpers zurückgeworfen wird, und ein anderer Theil in den Körper selbst zurückgeht, indem er ihn auf der entgegengesetzten Seite verlassen will; wie diess auch beim Schalle der Fall ist.

Man kann die Zurückwerfung eines Theils der Aetherschwingungen und das Durchgehen eines andern Theiles durch einen Versuch nachweisen, indem man einen Lichtstrahl in ein dunkles Zimmer auf eine etwas schief gehaltene dicke Glastafel fallen lässt. An jeder Gränze, mit welcher das Licht in Berührung kommt, wird ein Theil desselben zurückgeworfen, und geht ein anderer Theil durch. Dass aber die Aethertheilchen an den reflectirenden Stellen selbst als Mittelpunkte neuer Wellen angesehen werden können, erkennt man daran, dass man den Ort, wo die Reflexion erfolgt, in allen Richtungen sieht.

B. Von der Intensität des Lichtes.

§. 212.

Das eigentliche Maass für die Stärke des Lichtes oder seine Wirkung ist das Produkt aus der Masse des Aethers, der unser Auge trifft, in das Quadrat seiner Oscillations-Geschwindigkeit. Es muss darum auch nach §. 176 die *Intensität des Lichtes im umgekehrten Verhältnisse mit dem Quadrate der Entfernung* von dem leuchtenden Körper stehen. In der 2, 3, 4 ... fachen Entfernung ist also das Licht 4, 9, 16 ... mal schwächer. Da die Lichtwellen sehr klein sind, so kann man bei einem Unterschiede von nur einigen Wellenlängen sowohl die Grösse der Schwingungen als die Stärke des Lichteindruckes als unverändert betrachten. An der Oberfläche der Erde kann man sich der Sonne nicht so viel nähern, dass ein Unterschied in der Intensität des Lichtes bemerkbar wird; wohl aber findet obiges Gesetz Anwendung bei der Bestimmung der leuchtenden Kraft der Sonne auf den Planeten, und der Leuchtkraft eines Kerzenlichtes in verschiedenen Entfernungen.

Die Vibrations-Geschwindigkeit eines Aethertheilchens in irgend einer Zeit vom Anfang seiner Bewegung an gerechnet, lässt sich durch die nämliche Formel wie im §. 151 ausdrücken, und die Geschwindigkeits-Kurve aller Aethertheilchen einer Welle auf dieselbe Art wie dort construiren, wenn man für T die Zeit setzt, in welcher jedes Aethertheilchen eine Schwingung vollendet, und für t die Zeit, welche seit dem Anfang der Bewegung verflossen ist. Bedeutet nun l die Länge einer Aetherwelle, und ist x die Entfernung eines Aethertheilchens vom leuchtenden

Punkte, so ist $\frac{x}{l}$ die Anzahl der Wellen zwischen jenem Aethertheilchen und diesem Punkte. Die Anzahl der Schwingungen, welche der leuchtende Punkt nach der Zeit t gemacht hat, ist $\frac{t}{T}$, die Anzahl der Schwingungen der ersten Welle zunächst bei ihm ist also $\frac{t}{T} - 1$, die der zweiten Welle beträgt $\frac{t}{T} - 2$, und die Anzahl der Schwingungen, welche in der $n$ten Welle jedes Aethertheilchen gemacht hat, ist $\frac{t}{T} - n$. Bei obigem Aethertheilchen ist $n = \frac{x}{l}$, also ist die Anzahl der Schwingungen, die es seit dem Anfang der Zeit t gemacht hat, gleich $\frac{t}{T} - \frac{x}{l}$. Ist dieser Ausdruck eine ganze Zahl, so ist die Geschwindigkeit des Aethertheilchens $= 0$; gibt es aber eine ganze Zahl mit einem Bruche, z. B. $^2/_3$, so ist seit dem Anfang seiner jetzigen Schwingung $^2/_3$ von der Dauer einer ganzen Schwingung verflossen und daher seine Oscillations-Geschwindigkeit nach §. 151 Anmerkung $= c \sin {}^2/_3 \,.\, 360$ oder allgemein

$$v = c \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{l}\right)$$

wo c seine grösste Oscillations-Geschwindigkeit bedeutet und 2π statt 360^0 gesetzt ist. Da nun die Wirkung der Aethertheilchen dem Quadrate ihrer Oscillations-Geschwindigkeit proportional ist, so muss man die Stärke des Lichts durch

$$v^2 = c^2 \sin^2 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{l}\right)$$

ausdrücken.

§. 213.

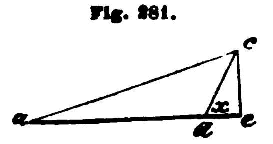
Ausserdem dass die Intensität des Lichtes mit der Entfernung vom leuchtenden Körper und mit der Grösse der Schwingungen sich ändert, hängt sie auch von der Grösse der leuchtenden Oberfläche ab, indem z. B. durch eine dreimal grössere Fläche auch dreimal mehr Aethertheilchen in schwingende Bewegung versetzt werden. Bezeichnet man darum die Lichtstärke, welche durch 1 □Centimeter von der leuchtenden Fläche ausgestrahlt wird, durch I und die Grösse der Fläche durch A in □Centim., so wird 1 □Centim. in der Entfernung R von dem senkrecht auffallenden Lichte, mit der relativen Lichtstärke $\frac{A \,.\, I}{R^2}$ beleuchtet.

Die Intensität des Lichtes jedes physischen Punktes an der Oberfläche eines leuchtenden Körpers nennt man den *wirklichen Glanz* desselben; während der *scheinbare Glanz* der Grad der Erleuchtung seines Bildes im Auge ist. Multiplicirt man alle Elemente der Oberfläche eines Körpers mit ihrem wirklichen Glanze, so ist die Summe dieser Produkte die *absolute Helligkeit;* während die *scheinbare Helligkeit* die Totalwirkung des in unser Auge dringenden Lichtbüschels ist.

§. 214.

Wird eine Fläche cd, Fig. 281, dem Lichte, welches von dem Punkt a kommt, in schiefer Lage ausgesetzt, so wird sie von so vielen Schwingungen getroffen, als auf die zur Linie ae senkrechte Fläche ce gelangen würden, wenn sie bis zu dieser ungehindert fortgehen könnten. Jede einzelne Stelle von cd wird darum schwächer beleuchtet, wie jeder gleichgrosse Theil von ce, und zwar so vielmal schwächer, als cd grösser ist als ce.

Fig. 281.



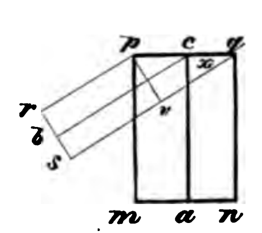
Nennt man x den Neigungswinkel von cd gegen ae, so ist $\frac{ce}{cd} = \sin x$. Wird daher die Intensität des Lichtes auf ce gleich J gesetzt, und die des Lichtes auf $cd = y$, so ist $\frac{y}{J} = \frac{ce}{cd} = \sin x$, folglich $y = J \sin x$; *oder die Intensität ändert sich mit dem Sinus des Neigungswinkels.* Wenn also a, Fig. 282, ein Licht ist, ab die Höhe desselben über dem Tische und c eine darauf liegende, erleuchtete Fläche, so wird die Lichtstärke in dem Punkt c der Grösse $\frac{J \,.\, \sin acb}{ac^2} = \frac{J \,.\, ab}{ac^3} = \frac{J \,.\, \sqrt{(ac^2 - bc^2)}}{ac^3}$ proportional. Dieser Ausdruck wird ein Maximum, wenn $\frac{ac^2}{bc^2} = {}^3/_2$ oder $ab = 0{,}703 \,.\, bc$ ist.

Fig. 282.

§. 215.

Der Erfahrung gemäss wird von einer leuchtenden Fläche pq, Fig. 283, der Aether zwar nach allen Seiten in schwingende Bewegung versetzt, aber eine zu den Parallellinien rp und sq senkrechte Fläche rs nicht stärker erleuchtet, als die in gleicher Entfernung befindliche, zu den Parallellinien mp und nq senkrechte Fläche mn. Würde jedes Aethertheilchen zwischen p und q nach jeder Richtung gleichstarke Schwingungen erregen, so müsste rs stärker erleuchtet sein als mn. Da übrigens diese Schwingungen bei allen leuchtenden Körpern durch Bewegungen in ihrem Innern bis an die Oberfläche fortgepflanzt werden, so haben die nach mn gelangenden, senkrechten Schwingungen in dem Körper einen kürzern Weg zurückzulegen, als die schief von ihm ausfahrenden, welche nach rs kommen. Die dadurch entstehende Schwächung der letztern veranlasst, dass die von mehr Aetherschwingungen getroffene Fläche rs nicht heller erscheint als mn, oder die Lichtstärke jedes einzelnen leuchtenden Punktes auf pq ist nach der Richtung bc so viel mal schwächer, als rs kleiner ist wie mn. Genauen Aufschluss hierüber geben die später folgenden Interferenz-Gesetze. — Man kann obigen Satz leicht durch einen Versuch nachweisen, wenn man einen glühenden eisernen Stab in verschiedenen Richtungen betrachtet. Auch erklärt sich daraus, warum die Sonne als eine Kugel am Rande nicht heller ist als in der Mitte.

Fig. 283.



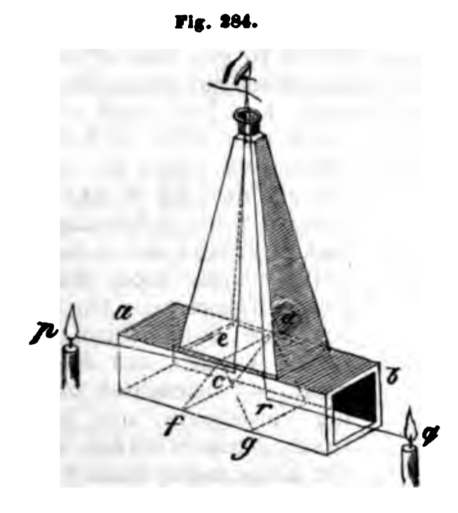
§. 216.

Theils zur Bestätigung der vorhergehenden Gesetze, theils aber auch, um die relative Lichtstärke zweier leuchtenden Körper zu finden, bedient man sich mehrerer Instrumente, welche man *Photometer* nennt. Unser Urtheil über ungleich erleuchtete Flächen ist so ungewiss, dass eine Anwendung dieser Instrumente nur dann ein etwas zuverlässiges Resultat gibt, wenn die Erleuchtung zweier Flächen gleich und nicht zu stark ist; ferner, wenn beide von gleicher Grösse sind und sich nahe bei einander befinden. Auch dürfen die zu vergleichenden leuchtenden Körper kein farbiges Licht verbreiten, weil sonst unser Urtheil über die Helle durch die Verschiedenheit der Farben unrichtig wird. Alles fremde

Licht muss beseitigt werden, und die Beobachtungen dürfen nur mit *einem* Auge geschehen.

Auf den Grundsatz, *dass zwei leuchtende Körper zwei glatte, weisse Flächen, die man in gleicher Entfernung betrachtet, gleich stark erleuchten, wenn uns diese gleich hell erscheinen*, gründet sich das von *Bouquer* angegebene und von *Ritchie* verbesserte Photometer. Es besteht aus einem rechtwinklichten Kasten, Fig. 284, welcher bei *a* und *b* offen und innen geschwärzt ist. Zwei Spiegel *ef* und *eg*, welche aus einem Stücke geschnitten sind, werden darin unter 45° gegen die Achse des Instrumentes befestigt. Bei *cd* ist eine Oeffnung, welche mit einem Streifen matten Glases bedeckt, und bei *c* durch einen schwarzen Strich längs der Kante beider Spiegel in zwei gleiche Theile getheilt ist. Sind zwei Lichter *p* und *q* ihrer Stärke nach mit einander zu vergleichen, so rückt man sie so lange hin und her, bis das matte Glas auf beiden Seiten von *cd* gleichstark beleuchtet erscheint, wenn man es durch eine innen geschwärzte Röhre betrachtet. Das Verhältniss der Lichtstärke von *p* und *q* ist alsdann dem Verhältnisse der Quadrate der Entfernungen *pc* und *qc* gleich, weil das eine Licht eine Kugelfläche von dem Radius *pc* eben so stark zu erleuchten vermag, als das andere die Kugelfläche von dem Radius *qc* erleuchtet, und die Kugelflächen sich wie die Quadrate der Radien verhalten. War z. B. das eine Licht 4 Fuss, das andere 7 Fuss entfernt, so wird die Stärke des einen durch die Zahl 16, und die des andern durch 49 ausgedrückt; oder es brennen 49 Lichter der ersten Art so hell als 16 Lichter der zweiten Art, also ohngefähr 3 so hell als eins. Nimmt man 5 gleichstarke Wachslichter und bringt eins davon in die Entfernung 1, und die vier andern in die doppelte Entfernung von dem Photometer, so findet man, dass diese, dem Frühern gemäss, die Glastafel eben so stark erleuchten, als das eine. Will man die Licht-Intensität der einzelnen leuchtenden Punkte zweier Körper, also ihren wirklichen Glanz, und nicht die Lichtstärken der ganzen Flächen mit einander vergleichen, so muss man das Licht durch zwei Schirme mit gleichgrossen Oeffnungen auf das Photometer fallen lassen. Statt der Spiegel kann man auch zwei weisse Papierflächen zu manchen Versuchen nehmen.

Fig. 284.

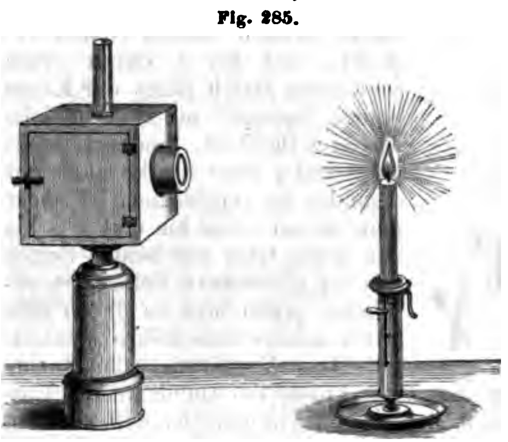


Rumford's Photometer besteht aus einem cylindrischen Stabe, welcher vor eine weisse Wand gestellt wird. Der eine von zwei mit einander zu vergleichenden leuchtenden Körpern wird durch Versuche so lange gerückt, bis die beiden Schatten des Stabes nahe neben einander fallen und an Stärke gleich sind. Da nun die Helle der Tafel der Summe beider Lichtstärken gleich ist, und jeder Schatten von einem der

leuchtenden Körper erhellt wird, so müssen die Lichtstärken gleich sein, wenn die Schatten gleich dunkel sind. Man findet dann wieder das Verhältniss der Lichtstärke durch die Quadrate der Entfernungen. Besser ist es, wenn man die beiden Schatten auf einen durchsichtigen Papierschirm fallen lässt und auf der Rückseite mit einem Licht sich nähert oder entfernt, um zu sehen, ob die beiden Schatten bei gleicher Beleuchtung verschwinden.

Bunsen hat in neuerer Zeit ein Photometer angegeben, welches auf Folgendem beruht: Man zeichnet auf einen weissen Papierschirm einen Kreis und reibt diesen mit warmem Stearin so ein, dass er durchscheinend wird. Befestigt man diesen Papierschirm auf einem Ring in der kreisförmigen Oeffnung eines Blechkastens, Fig. 285, und zündet man eine darin befindliche Moderateurlampe an, so erscheint der Kreis auf der äussern Seite heller als die andern Stellen des Schirms, weil er mehr Licht durchlässt. Nähert man von dieser Seite dem Schirm das Licht, welches zur *Einheit* dient, so beleuchtet dieses die Vorderseite, und kann so sehr genähert werden, dass der Kreis sogar dunkler erscheint, als die andern Theile des Schirms. Durch Hin- und Herrücken findet man den Abstand, in welchem der Kreis so hell erscheint, als das nicht durchscheinende Papier. Ebenso kann man die zu vergleichende Lichtflamme, nach Entfernung des obigen Lichtes, in einen solchen Abstand bringen, dass der Ring gerade verschwindet; das Verhältniss der Quadrate der Abstände beider Lichtquellen von dem Schirm gibt alsdann das Verhältniss ihrer Stärke.

Fig. 285.



Wollaston verglich die Lichtstärke der Sonne mit der eines Sternes, indem er das Sonnenbild, welches eine Thermometerkugel zurückwirft, durch ein Fernrohr, und das Licht einer Kerze durch ein convexes Glas betrachtete. Waren beide gleichstark und wurde nun bei Nacht derselbe Vergleich zwischen dem Kerzenlichte und dem Lichte eines Sternes angestellt, so konnte man aus den beiden Entfernungen und dem Durchmesser der Kugel die Lichtstärke des Sternes im Verhältnisse zur Sonne berechnen; demnach würden erst 20000 Millionen Sterne, wie Sirius, der Sonne an Helle gleich sein.

Nach *Herschel* ist der Vollmond 27000mal heller, als das Alpha Centauri, der dritte aller Sterne seiner Lichtstärke nach.

Wenn man das Verhältniss des Sonnenlichtes zum Kerzenlichte und das des Kerzenlichtes zum Mondlichte kennt, so findet man daraus das des Sonnenlichtes zum Mondlichte. Nach *Bouguer* ist es wie 300,000 zu 1, nach *Wollaston* wie 800,000 zu 1. Nach Beiden ist das Sonnenlicht so stark, als das von 5500 Kerzen in 1 Fuss Entfernung, und nach *Foucault* die Stärke des elektrischen Lichtes $\frac{2}{3}$ von der des Sonnenlichtes. Einen Unterschied in der Lichtstärke oder einen Schatten nimmt

man noch wahr, wenn die Helle der dunklern Stelle $\frac{59}{60}$ von der Helle der andern beträgt und beide neben einander liegen, besonders wenn der Schatten bewegt wird.

Lampadius befestigte in einer Röhre so viele durchsichtige, gleichdicke Plättchen von Horn, bis ein Licht nicht mehr dadurch gesehen wurde, und suchte daraus das Verhältniss der Lichtstärke. Auf demselben Grundsatze beruht das Photometer von *de Maistre*. Es besteht aus einem Prisma, Fig. 286, von blauem und einem Prisma von weissem Glase, welche unter gleichen Winkeln geschliffen und zu einem Rechteck zusammengesetzt sind. Dieses *Photometer* wird beim Gebrauche vor ein Fernrohr befestigt und so lange verschoben, bis man den hellern Gegenstand an der dicken Stelle des blauen Prisma's eben so helle sieht, als den weniger hellen an einer dünnen Stelle. Aehnlich diesem ist auch das von *Quetelet*. Für die Vergleichung der Lichtstärke von Sternen hat *Schwerd* ein Photometer construirt, welches Unterschiede von $\frac{1}{20}$ Sterngrösse angibt.

Fig. 286.



Leslie's Photometer, welches *Ritchie* bedeutend verbessert hat, ist eigentlich ein Differential-*Thermometer*. Nach des letztern Einrichtung besteht es aus zwei durch eine Glasröhre mit einander verbundenen hohlen Cylindern von Zinn, deren von der Mitte abgewendete Enden durch Glas von vollkommener Reinheit geschlossen sind. Diesen Glasplatten liegt am andern Ende jedes Cylinders ein geschwärztes Papier gegenüber. In der Glasröhre ist etwas gefärbte Schwefelsäure. Wenn nun die Luft in den Cylindern durch die Wärme ungleich ausgedehnt wird, so bewegt sich die Schwefelsäure von dem einen nach dem andern Cylinder. Bleibt diese im Gleichgewichte zwischen beiden, so schliesst man aus den Entfernungen der Licht und Wärme verbreitenden Körper auf die Lichtstärke.

Nach Messungen von *Knapp* und Andern geben folgende Beleuchtungsmittel, im Vergleich mit Wachskerzen, von denen 10 auf 1 Kilogramm gehen, nebenstehende Lichtmengen L. bei einem Verbrauch von M.-Gramm Brennmaterial in einer Stunde.

	L.	M.
Küchenlampe	0,489	8,00
Talglicht, 16 auf 1 Kil.	0,642	7,50
Wachslicht, 10 auf 1 Kil.	1,000	8,71
Stearinlicht, 10 auf 1 Kil.	1,051	9,35
Moderateur-Lampe	7,347	42,00
Steinkohlengasflamme	9,331	0,136 Cub.-M.

C. Reflexion des Lichtes.

§. 217.

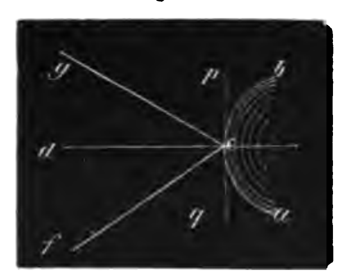
Da nach den allgemeinen Gesetzen über die Reflexion der Wellen elastischer Flüssigkeiten jedes Aethertheilchen an der Wand uv (Fig. 222, Seite 177) als der Mittelpunkt neuer Wellen angesehen werden kann, welche durch Interferenz eine reflektirte Welle bilden, die von einem Punkte zu kommen scheint, welcher eben so weit hinter der reflektirenden Fläche zu liegen scheint, als der leuchtende Punkt vor ihr liegt, so wird auch jeder Lichtstrahl cu in u so zurückgeworfen, als käme er von a, oder es ist auch hier wieder der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich. Die Erscheinungen sind der Theorie gemäss. Man sieht darum in einem *Spiegel* die Gegenstände in derselben Lage und Grösse, wie man sie, in gleicher Entfernung hinter ihm stehend, erblicken würde. Die Klarheit des Spiegelbildes hängt von der Regelmässigkeit ab, mit welcher die Lichtwellen reflektirt werden. Auf einer unebenen Fläche erfolgt die Zurückwerfung nach verschiedenen Richtungen, und es kann darum kein deutliches Bild entstehen. Die vollkommenste Reflexion geben Metallspiegel, besonders der *Liebig*'sche Silberspiegel und Spiegel

von Platina, so wie manche Legirungen von Kupfer, Silber und Zinn; die Oberfläche mancher Flüssigkeit, z. B. des Quecksilbers; auch das Glas allein spiegelt, wie man sieht, wenn es hinten geschwärzt ist. Bei gewöhnlichen Spiegeln reflektirt die metallische Fläche des Zinnamalgams das meiste Licht, und die Glasfläche das wenigste; dadurch entstehen mehrere Bilder, von denen zuweilen eins die Deutlichkeit des andern stört, besonders wenn das Spiegelglas grün ist oder sonst eine dunkle Farbe hat, indem alsdann durch die Schwächung des von der Metallfläche reflektirten Lichtes, das von der Vorderfläche reflektirte merklicher hervortritt. Das *diffuse* Licht einer ebenen Wand entsteht durch die kleinen Unebenheiten. Dass eine solche gleichwohl den Schall deutlich reflektiren kann, ist eine Folge davon, dass die Schallwellen so vielmal grösser sind, als die Lichtwellen.

§. 218.

Zur genauern Bestimmung der Richtung, in welcher die zu den Lichtwellen senkrechten Linien, die wir Lichtstrahlen nennen, fortgehen, ist folgende Bezeichnung gebräuchlich: Man zieht zur Oberfläche ab, Fig. 287, des reflektirenden Körpers an den Punkt e, in welchem der Weg des reflektirten Lichtes zu finden ist, eine Berührungsebene pq, und dazu eine senkrechte Linie ed, welche das *Neigungsloth* heisst. Ist nun fe der einfallende und ge der reflektirte Lichtstrahl, so heisst fed der *Einfallswinkel* und ged der *Reflexionswinkel*. Die Ebene feg, in welcher auch die Linie ed liegt, heisst die *Reflexions-Ebene*, und ist zur Oberfläche des Körpers in e senkrecht, weil das *Neigungsloth* ed dazu senkrecht ist, wie aus §. 171 folgt.

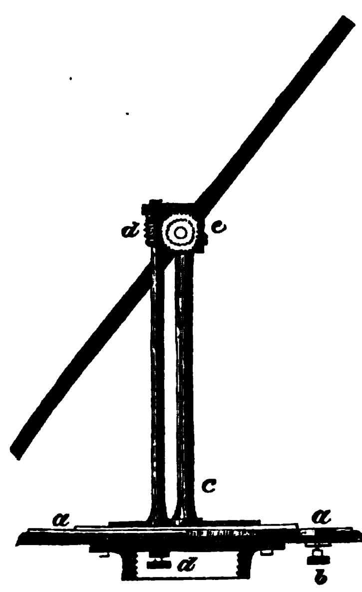
Fig. 287.

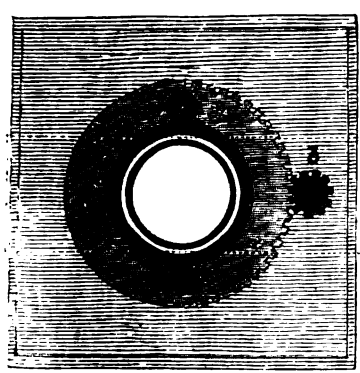


Auf die Reflexion des Lichtes von ebenen Flächen gründen sich mehrere wichtige Instrumente:

Der *Heliostat*, Fig. 288, besteht aus einem geneigten Planspiegel, der sich um eine Achse e drehen lässt. Diese Achse ruht auf zwei Säulen, die im Grundriss der Figur mit a und c bezeichnet sind, und von denen nur eine ce im Aufriss sichtbar ist. An dieser Achse e ist ein gezahntes Rädchen befestigt, in welches die Schraube ohne Ende d eingreift, die mittelst der Stange dd und des Knopfes d gedreht wird. Dadurch kann man dem Spiegel alle möglichen Neigungen gegen die Ebene aa geben. Die beiden Säulen sind an einer Metallplatte aa befestigt, welche, wie der Grundriss zeigt, kreisförmig und über die Hälfte gezahnt ist. Ein gezahntes Rädchen b greift in dieselbe ein, und dient zur Drehung der Metallscheibe um sich selbst in einem Ring und einer Nute des viereckigen hölzernen Brettchens. An die Metallplatte ist eine Mutter befestigt von der Grösse der kreisförmigen Oeffnung, um die später zu beschreibenden Instrumente, das Sonnenmikroscop, den Polarisations-Apparat, grössere oder kleinere Platten mit Spaltöffnungen u. dgl. daran zu befestigen. Der Spiegel ist am besten doppelt. Auf der einen Seite von Metall oder ein guter Glasspiegel, auf der andern Seite eine geschwärzte Glasplatte zu Versuchen über die Polarisation. Die beiden Drehungen dienen dazu, dem Spiegel, dessen Brettchen an einem Fensterladen befestigt wird, eine solche Stellung zu geben, dass das Sonnenlicht durch ihn horizontal in's Zimmer geleitet wird. Wegen des veränderlichen Standes der Sonne hat man auch Heliostate mit Uhrwerk. Das *Frauenhofer*'sche ist so eingerichtet, dass die Achse der Uhrzeiger mit der Erdachse parallel gestellt werden kann und sich in 24 Stunden einmal umdreht. Ein kleiner Spiegel ist so daran befestigt, dass er sich mit derselben Geschwindigkeit dreht

Fig. 288.





und das Sonnenlicht nach dem Polarstern also immer in gleicher Richtung zurückwirft. Mit Hilfe eines zweiten feststehenden Spiegels kann man diesen reflektirten Sonnenstrahl nach jeder beliebigen Richtung leiten. Bei dem Heliostat von *Silbermann* wird diess durch einen einzigen Spiegel mittelst des Uhrwerks und einer doppelten Drehung erreicht.

Das *Heliotrop* von *Gauss* besteht aus zwei rechtwinklicht zu einander befestigten Spiegeln, welche so an einem Fernrohre angebracht sind, dass, wenn man in dem einen das reflektirte Sonnenbild und zugleich in direkter Richtung über ihm hinweg irgend einen Gegenstand sieht, der andere das ebenfalls reflektirte Bild der Sonne auf diesen Gegenstand wirft.

Das *Reflexionsgoniometer* von *Wollaston* beruht darauf, dass ein Krystall mit spiegelnden Flächen, welche parallel mit einer Drehungsachse sind, das Bild einer mit dieser Achse parallelen Linie jedesmal in derselben Richtung zurückwirft, wenn er um das Supplement des Winkels gedreht worden ist, welchen jene Flächen mit einander bilden.

§. 219.

Wenn zwei Spiegel zu einander parallel sind, so erscheint ein dazwischen befindlicher Gegenstand so weit hinter jedem von ihnen, als seine Entfernung von der Oberfläche desselben beträgt. Das Bild desselben in dem einen Spiegel erscheint wieder ebenso weit hinter dem andern, als es vor ihm zu sein scheint u. s. w. Dadurch entsteht eine Vervielfältigung des Gegenstandes, die nur in der Schwächung des Lichtes durch die Reflexion ihre Gränzen findet, wie das Echo zwischen parallelen Wänden.

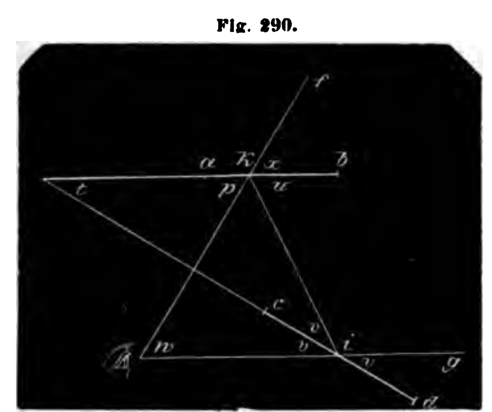
Fig. 289.



Wenn aber, Fig. 289, in die Mitte zwischen die geneigten Spiegel po und qo ein Gegenstand a gebracht wird, so erscheint dieser in b und c hinter den Spiegeln. Das Bild b erzeugt ein Bild e hinter dem Spiegel po, und c ein Bild d hinter qo; das Bild d ein anderes in u. Alle diese Bilder sind gleichweit von o entfernt, und liegen darum in der Peripherie eines Kreises. Ist poq z. B. der sechste Theil von 360°, so entstehen 5 Bilder, und ist es der $n$te Theil von 360°, und n eine gerade Zahl, so entstehen $n - 1$ Bilder. Hierauf gründet sich der *Winkelspiegel* und *Brewster's Kaleidoscop.*

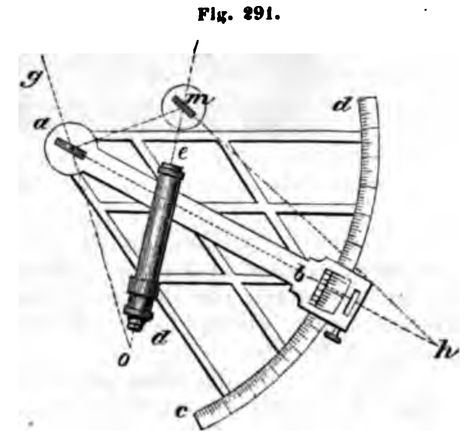
Haben zwei Spiegel *ab* und *cd*, Fig. 290, eine solche Lage zu einander, dass das Auge in *w* nach der Richtung *wf* einen Punkt *f* sieht, während es zugleich das auf dem Wege *gikw* reflektirte Bild des Punktes *g* in dem Spiegel *ab* in derselben Richtung mit *f* wahrnimmt, so ist der Winkel $t = u - r$ und $w = x + u - 2v$, oder, da $x = p = u$ ist, $w = 2u - 2r$; also das Doppelte von *t*, oder der Winkel *w*, unter welchem man die Gegenstände *f* und *g* in *w* sieht, ist das Doppelte von dem Winkel, unter welchem die Spiegel *ab* und *cd* zu einander geneigt sind. Hierauf gründet sich der *Spiegelsextant*. Bilden die beiden Spiegel beständig einen Winkel von 45°, so ist der Winkel, welchen die Linien *wf* und *wg* mit einander bilden, ein rechter. Hierauf beruht ein Instrument, welches die Geometer brauchen, um rechte Winkel abzustecken, und *Spiegelkreuzscheibe* nennen.

Fig. 290.



Der *Spiegelsextant* von *Hadley*, Fig. 291, dient dazu, die Winkel zwischen zwei Gegenständen in jeder Richtung gegen den Horizont zu messen, selbst wenn der Beobachter keinen festen Standpunkt hat. Es besteht aus einem metallenen Sector *adc*, dessen Centrum bei *a* zugleich der Drehpunkt einer Alhidade *ab* ist, welche bei *b* einen Nonius und eine Mikrometer-Schraube zur genauern Einstellung auf die beiden Gegenstände hat. Auf der Alhidade ist bei *a* ein senkrechter Spiegel befestigt, der sich mit ihr dreht. Dem Fernrohr *de* gegenüber, welches auf den Sector befestigt ist, steht in unverrückbarer Lage ein zweiter Spiegel *m*. Dieser ist nur unten metallisch belegt und oben durchsichtig gelassen. Die Achse des Fernrohrs geht gerade durch die Gränze des belegten und des unbelegten Theils vom Spiegel. Das Auge *o* sieht darum durch den obern Theil ein in der Richtung *om* befindliches Objekt, und in dem untern Theil ein anderes Objekt *g*, von welchem das Licht auf dem Weg *g, a, m, e, o* nach zweimaliger Reflexion in das Auge gelangt. Der Winkel *mha*, welchen die beiden Spiegel bilden, wird durch die Theilung des Sectors angegeben, und ist die Hälfte des Winkels *gom*.

Fig. 291.



§. 220.

Die Zurückwerfung des Lichtes von krummen Oberflächen erfolgt nach den im §. 163 und 171 angegebenen Gesetzen. Wenn daher in den Brennpunkt *a* eines Ellipsoïdes (Fig. 223, Seite 178) ein Licht gestellt wird, so werden die Lichtstrahlen so reflektirt, dass sie sich alle nach der Zurückwerfung in dem andern Brennpunkt *b* durchschneiden.

odurch in diesem das Bild eines zweiten Lichtes hervorgebracht wird. ie aus dem Brennpunkte a eines Paraboloïdes (Fig. 224, Seite 178) ımmenden Lichtstrahlen gehen nach der Reflexion parallel mit der :hse ab fort, und die parallel mit der Achse einfallenden Lichtstrahlen hneiden sich nach der Reflexion von den Wänden der Parabel in rem Brennpunkte. Dasselbe findet statt, wenn mn (Fig. 226, Seite 179) n sehr kleiner Theil einer Kugel ist. Die Brennweite ab ist alsdann m halben Radius gleich. Ebenso folgt daraus, dass die Lichtstrahlen, elche aus dem Brennpunkte a (Fig. 225, Seite 179) eines Hohlspiegels ımmen, in dem Brennpunkte b des andern, damit parallelen Hohlspiels op wieder vereinigt werden. Da mit den Lichtstrahlen der Sonne ıch Wärmestrahlen verbunden sind, und diese nach denselben Gesetzen ırückgeworfen werden, so muss in dem Brennpunkt eines den Sonnenrahlen senkrecht ausgesetzten Hohlspiegels eine beträchtliche Hitze ıtstehen. Metalle können darum durch grosse Hohlspiegel geschmolzen, ennbare Körper entzündet und andere verflüchtigt werden.

§. 221.

Wenn die Lichtstrahlen nicht parallel mit der Achse eines sphäschen Spiegels sind, sondern, wie in Fig. 292, von einem Punkte b herkommen, dessen Entfernung ab von dem Spiegel pq nicht für unendlich gross angenommen werden kann, und c das Centrum der Hohlkugel oder des Spiegels ist, so findet man den Weg, welchen ein Lichtstrahl z. B. bf nach der Reflexion nehmen muss, indem man das Neigungsloth fc zieht, und den Winkel cfd gleich dem Winkel bfc macht. Der reflektirte Lichtstrahl fd schneidet alsdann die Achse in einem unkte d, welcher näher bei c liegt, als der Brennpunkt.

Fig. 292.

Setzt man die Brennweite des sphärischen Spiegels gleich f, so ist der Radius $c = 2f$, und für Lichtstrahlen, die nahe bei a einfallen, ist $ad = df$, und $ab = f$. Bezeichnet man die Entfernung ab des leuchtenden Punktes durch a und ad urch e, so ist $\frac{df}{bf} = \frac{dc}{cb}$ oder $\frac{e}{a} = \frac{2f-e}{a-2f}$; folglich $e = \frac{af}{a-f}$; e heisst die ereinigungsweite der Lichtstrahlen, weil alle von b kommenden und nahe bei a infallenden Lichtstrahlen durch den Punkt d gehen.

§. 222.

Da nach dem Vorhergehenden die Vereinigung aller von b (Fig. 292) ommenden Lichtstrahlen, welche nahe bei a reflectirt worden sind, in ', oder in einem Punkte stattfindet, welcher auf der von b durch den littelpunkt c der Kugel gezogenen Linie ba liegt, so muss der Vereiningspunkt aller von g, Fig. 293, kommenden Lichtstrahlen ebenfalls uf der von g durch den Mittelpunkt c gezogenen Linie gh liegen, und a g ohngefähr eben so weit von c entfernt ist als b, so muss auch die ereinigungsweite hk der vorigen ad gleich sein. In k entsteht also ine Vereinigung der von g kommenden Lichtstrahlen, oder ein Bild des unktes g; ebenso in d ein Bild des Punktes b. Dasselbe gilt von

Fig. 293.



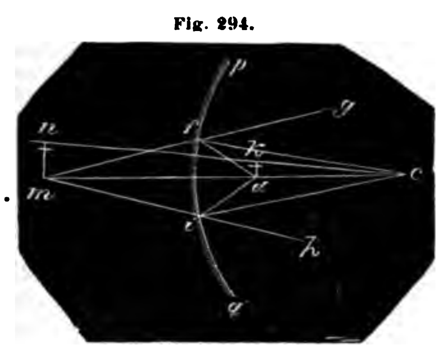
allen zwischen g und b liegenden Punkten. Dadurch entsteht folglich in dk das verkehrte Bild von gb. Die Linien gh und ba nennt man die *Hauptstrahlen* der Punkte g und b; den Punkt a den optischen Mittelpunkt des Hohlspiegels.

Da die Lichtstrahlen, welche von d kommen, so reflectirt werden, dass sie sich in b durchschneiden, indem sie alsdann nur einen Weg nehmen, welcher dem vorigen entgegengesetzt ist; so werden sich auch die von k kommenden reflectirten Strahlen in g durchschneiden, und es muss daher ein leuchtendes Objekt dk ein verkehrtes Bild in bg hervorbringen. Zur Bestätigung dieses und des vorhergehenden Satzes kann man ein Licht in verschiedene Entfernungen von einem Hohlspiegel halten, und das entstehende Bild mit einem weissen Papiere auffangen.

Die Grössen von bg und dk sind den Entfernungen von cb und dc vom Mittelpunkte des Spiegels proportional. Ist dk das entstandene Bild, so ist es kleiner als das Objekt bg. Bringt man aber einen Gegenstand nach dk, so entsteht sein vergrössertes Bild in bg. Diess ist jedoch nur so lange der Fall, als dk zwischen dem Brennpunkte und dem Mittelpunkte c liegt. Fällt dk in den Brennpunkt, so gehen die Lichtstrahlen, welche von d auf den Spiegel fallen, nach der Reflexion parallel mit ab zurück, und ebenso sind die von k herrührenden Lichtstrahlen nach der Reflexion parallel mit hg. Es findet also keine Wiedervereinigung derselben statt, oder es kann kein Bild von dk entstehen.

Rückt dk dem Spiegel noch näher als der Brennpunkt, wie in Fig. 294, so gehen die von d ausfahrenden Lichtstrahlen df und di divergirend nach fg und ih zurück. Verlängert man diese, so schneiden sie sich in m. Sie scheinen also von einem Punkte m hinter dem Spiegel zu kommen. Ebenso scheinen die von k ausgegangenen und nachher reflectirten Strahlen von dem Punkte n zu kommen. Es entsteht also hinter dem Spiegel von dk ein aufrechtes und vergrössertes Bild mn. Da hier keine wirkliche Vereinigung der Lichtstrahlen stattfindet, so entsteht auch hier kein *physisches*, sondern ein sogenanntes *geometrisches Bild.*

Fig. 294.



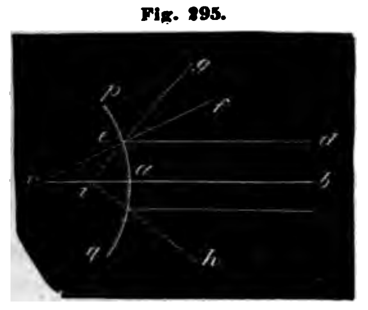
Aus der im §. 221 für die Vereinigungsweite e abgeleiteten Formel findet man die Entfernung des Bildes von dem Spiegel auch für jede Entfernung des Objectes, oder für jeden Werth von a. Ist z. B. $a = \infty$, so ist $e = f$. Nimmt man $a = 2f$, so ist $e = a$, und wird $a = f$ gesetzt, so ist $e = \infty$. Für jeden Werth von a, der kleiner ist als f, wird aber e negativ, oder die divergirenden Lichtstrahlen schneiden sich erst, wenn sie rückwärts verlängert werden.

Alle Lichtstrahlen; welche nicht nahe bei der Mitte des Spiegels einfallen, haben andere Durchschnittspunkte mit der Achse, und, indem immer zwei von ihnen, die auf einander folgen, nach der Reflexion sich schneiden, entsteht die Brennlinie, *Katakaustik*. Durch eine um einen Halbkreis von Papier gebogene, polirte Uhrfeder kann man sie sichtbar machen; man nimmt sie aber schon in jeder Porcellantasse wahr.

§. 223.

Ist pq, Fig. 295, ein convexer Spiegel und c sein Mittelpunkt, so gehen die mit der Achse cb parallel einfallenden Lichtstrahlen nach der Reflexion divergirend fort, der Lichtstrahl ed z. B. in der Richtung eg, wenn der Winkel gef gleich fed ist. Verlängert man die Linie eg, so schneidet sie die Achse in dem Punkte i. In dem nämlichen Punkte treffen auch die andern Lichtstrahlen, welche parallel mit der Achse waren, zusammen, wenn man sie nach der Reflexion rückwärts verlängert. Daher heisst der Punkt i der Brennpunkt des convexen Spiegels pq. Seine Entfernung ist ebenfalls dem halben Radius gleich. Alle übrigen Erscheinungen, wie z. B. dass die Bilder in erhabenen Spiegeln kleiner erscheinen, lassen sich nun wie beim Hohlspiegel leicht erklären.

Fig. 295.



Die Vereinigungsweite e für convexe Spiegel findet man, wenn man in der Formel $e = \frac{af}{a - f}$ im §. 221 die Brennweite f negativ annimmt, indem der Brennpunkt auf der andern Seite des Spiegels liegt. Dadurch wird $e = - \frac{af}{a + f}$, das heisst: Die Lichtstrahlen werden bei jeder Entfernung des leuchtenden Punktes so reflectirt, dass sie aus einem hinter dem Spiegel liegenden Punkte zu kommen scheinen. Weil die convexen Spiegel das Licht der Sonne auf die angegebene Art zerstreuen, so sieht man sie, wie z. B. metallene erhabene Knöpfe, nach vielen Richtungen glänzen.

Die Bilder, welche in Kegelspiegeln und in cylindrischen Spiegeln von gegebenen Gegenständen entstehen, lassen sich nach den vorhergehenden Gesetzen nun ebenfalls erklären, so wie auch die Zeichnung der katoptrischen Anamorphosen oder Zerrbilder, welche, in einer gewissen Entfernung von einem solchen Spiegel betrachtet, wieder als regelmässige Bilder erscheinen.

§. 224.

Mit Hilfe des Photometers von *Ritchie* kann man das Verhältniss zwischen der Stärke des einfallenden und des reflectirten Lichtes finden. Die Ursache, warum die reflectirten Wellen nicht die nämliche Vibrations-Intensität besitzen können als die einfallenden, liegt darin, dass die letzten auch eine Bewegung der Aethertheilchen in dem reflectirenden Körper veranlassen. Wenn die Oberfläche dieses Körpers uneben ist, so erfolgt überdiess die Bildung der reflectirten Welle nicht mit der Regelmässigkeit, welche im §. 163 vorausgesetzt wurde, und daher ist ihre Intensität ebenfalls geringer. Dass übrigens auch bei dem glattesten Körper die Aethertheilchen, welche an der reflectirenden Stelle desselben sich befinden, als die Mittelpunkte neuer Wellen angesehen

werden können, folgt daraus, dass man diese Stelle auf allen Seiten wahrnimmt.

Die Intensität des reflectirten Lichtes hängt von der Wirkungsfähigkeit des schwingenden Aethers in der Richtung der Reflexion ab. Letztere ist aber geringer als *vor* der Reflexion, weil die ursprüngliche Wirkungsfähigkeit zum Theil auf Schwingungen im reflectirenden Körper verwendet worden ist. Die Grösse des verwendeten Antheils ist aber verschieden für die verschiedenen Richtungen der Schwingungen. Desshalb hängt die Intensität des reflectirten Lichtes von der Polarisations-Richtung und von dem Einfallswinkel ab. Mit Hülfe des Photometers hat man gefunden, dass die Intensität des senkrecht reflectirten Lichtes von einem Metallspiegel ohngefähr $^3/_5$, von Quecksilber $^3/_4$, von Wasser $^1/_{50}$, von Glas $^1/_{25}$ des einfallenden Lichtes beträgt. Die vollkommenste Reflexion unter den Glasspiegeln zeigen die nach *v. Liebig's* Methode auf elektrolytischem Weg versilberten.

Unter verschiedenen Einfallswinkeln von 5, 10, 20, 40, 60 Graden mit der reflectirenden Ebene reflectirt nach *Brewster:*

Grade.	Wasser.	Gew. Glas.	Spiegelglas.
5	0,503	0,666	0,543
10	0,333	0,391	0,412
20	0,145	0,162	0,222
40	0,034	0,061	0,157
60	0,019	0.044	0,087
90	0,018	0,043	0,025

D. Absorption und Emission des Lichtes.

§. 225.

Nach photometrischen Messungen beträgt die Stärke des reflectirten und des durch einen Körper gehenden Lichtes zusammen weniger als die ursprüngliche Stärke des darauf gefallenen Lichtstrahles. Der fehlende Theil des Lichtes heisst *absorbirt* oder durch *Absorption* verschwunden. In vielen Fällen lässt sich nachweisen, dass das absorbirte Licht in Wärme verwandelt wurde, in andern, dass es durch seine chemische Wirkung geschwächt wurde, wie in §. 206 gezeigt ist. Mit der Fähigkeit eines Körpers Licht zu absorbiren oder seinem *Absorptions*-Vermögen, steht sein Vermögen in glühendem Zustand Licht auszusenden oder sein *Emissions-Vermögen* in inniger Verbindung.

Wenn man annimmt, dass in einem selbstleuchtenden Körper, der nur monochromatisches, also nur Licht von *einer* bestimmten Wellenlänge oder Schwingungsdauer aussendet, die Moleküle desselben sich in *derselben* periodischen Bewegung befinden, und dass nur Aetherschwingungen *dieser* Dauer ihn in schwingende Bewegung versetzen, so können die neben einander im Körper liegenden Aether- und Körpermoleküle bei fortwährender Einwirkung des darauf fallenden einfachen Lichtes in so lebhafte Schwingungen gerathen, dass die Körpermoleküle aneinander stossen und dass dadurch Wärme entsteht. Die lebendige Kraft, welche auf die Schwingungen der Körpermoleküle verwendet wird, bewirkt eine Verminderung in der lebendigen Kraft der Aetherschwingungen und damit eine Schwächung des durchgehenden Lichtes, die bei einer gewissen Dicke des Körpers zur Auslöschung oder vollständigen Absorption führt.

Unter dieser Voraussetzung wird das von *Kirchhoff* theoretisch nachgewiesene Gesetz begreiflich, *dass ein Körper der im glühenden Zustand nur Licht von einer bestimmten Wellenlänge aussendet, einen darauf fallenden Lichtstrahl von derselben Wellenlänge absorbirt.* Sendet er aber Licht von verschiedenen Wellenlängen aus, so absorbirt er aus demselben Grund auch die Lichtstrahlen der gleichen Farbe. Weissglühendes Glas sendet Licht von jeder Wellenlänge aus und lässt darum auch gar keine Lichtstrahlen durch. Die mit Kochsalz bestreute Weingeistflamme ist monochratisch *gelb* von dem glühenden Natrium des Salzes. Das Licht derselben geht nicht durch den Natriumdampf, den man erhält, wenn man in einer mit Wasserstoffgas gefüllten Röhre, ein Stück Natrium erhitzt und seine Dämpfe durch eine Spitze ausströmen lässt.

§. 226.

Unter dem *Licht-Absorptionsvermögen* eines Körpers versteht man das Verhältniss der Intensität des absorbirten Lichtes zu der Stärke des auffallenden Lichtes. Bezeichnet man erstere durch i und letztere durch I, so ist also das Absorptions-Vermögen $A = \frac{i}{I}$.

Das *Licht-Emissionsvermögen* ist die Intensität der von einem Körper ausgesandten Strahlen von irgend einer Wellenlänge.

Eine, bei gewöhnlicher Temperatur vollkommen schwarze Kugel strahle nun, wenn sie erhitzt wird, bei einer gewissen Temperatur rothes Licht von der Intensität e aus, und eine andere Kugel von gleicher Grösse strahle bei derselben Temperatur dasselbe rothe Licht von der Intensität E aus, so ist $\frac{E}{e}$ das Verhältniss ihrer Emissionsvermögen. Da ein vollkommen schwarzer Körper alles Licht absorbirt, so absorbirt er auch das rothe Licht von der Intensität e, wenn dieses auf ihn fällt. Sein Absorptionsvermögen a ist also nach dem Obigen gleich $\frac{e}{e} = 1$. Nun hat *Kirchhoff* theoretisch bewiesen, dass wenn bei der Absorption die verschwundenen Strahlen alle in Wärme verwandelt werden, *das Verhältniss zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen aller Körper für Strahlen von gleicher Wellenlänge bei derselben Temperatur dasselbe ist,* oder dass $\frac{E}{A} = \frac{e}{a}$, und da $a = 1$, so ist stets $\frac{E}{A} = e$.

Das Absorptionsvermögen ist bei den verschiedenen Körpern sehr verschieden; zugleich ändert es sich mit der Wellenlänge und der Temperatur. Da der Bruch $\frac{E}{A}$ immer gleich e bleibt, so muss *das Emissionsvermögen um so grösser werden, je grösser das Absorptionsvermögen wird.*

§. 227.

Wenn man einen Platin- oder andern Metalldraht allmälig erhitzt, so sendet er zuerst Wärmestrahlen aus, die nicht sichtbar sind, bei

welchen also nach dem vorigen §. die Emission für Licht oder das $e = o$ ist. Steigt die Temperatur, so fängt der Draht zuerst roth zu glühen an, und bei noch höherer Wärme kommen Strahlen von immer kleineren Wellenlängen hinzu. Nun hat *Kirchhoff* ferner gezeigt, dass der Werth von e bei derselben Wellenlänge *nur von der Temperatur* abhängt. Fängt also der eine Körper in der Hitze an, Roth zu zeigen, so muss auch jeder andere bei derselben Temperatur anfangen roth zu werden. Dasselbe gilt bei höhern Temperaturen für Gelb, Grün u. s. w. Alle Körper fangen demnach, wenn ihre Temperatur allmälig erhöht wird, bei gleicher Temperatur an, Licht von derselben Farbe auszusenden; sie müssen also auch alle bei derselben Temperatur weissglühend werden. Diess bestätigen die Versuche von *Draper* mit verschiedenen Körpern, die er in einer Röhre, also bei gleicher Temperatur, zum Glühen brachte. Obgleich der eine Körper lebhafter glühte als der andere, so zeigten sie doch gleiche Farbe.

E. Von der Brechung des Lichtes.

§. 228.

Wenn ein gleichartiger Lichtstrahl ab, Fig. 296, das heisst, ein solcher, welcher z. B. nur rothes Licht enthält, in der Richtung ab aus der Luft auf Wasser oder einen andern Körper fällt, dessen Oberfläche durch mn vorgestellt wird, so geht er nach einer andern Richtung, welche durch die Linie bc ausgedrückt werde, in diesem Körper fort. Diese Erscheinung nennt man die *Brechung* des Lichtes. Zieht man das Neigungsloth de, so heisst x der *Einfallswinkel*, y der *Brechungswinkel* und z der *gebrochene oder Ablenkungswinkel*. Die Linien ab, bc und de liegen, bei gleichförmigen Mitteln, immer in einer zur Oberfläche mn senkrechten Ebene, welche die *Brechungs-Ebene* heisst. Macht man $ab = bc$ und zieht man nachher ag und hc senkrecht zu de, so ist ag der Sinus des Einfallswinkels und hc der Sinus des Brechungswinkels. Das Verhältniss der ersten Linie zur zweiten heisst das *Brechungsverhältniss* oder der *Brechungsexponent*. *Dieses Verhältniss ist zwischen denselben Mitteln*, z. B. zwischen dem leeren Raume und Wasser, oder zwischen Glas und Wasser, *unter jedem Einfallswinkel das nämliche*, wie zuerst *Cartesius* bewiesen hat, und wenn der Lichtstrahl ab aus dem leeren Raume auf einen Körper fällt, so ist ag immer grösser als hc, oder der Einfallswinkel x grösser als der Brechungswinkel y. Wenn mn die Gränze zwischen dem luftleeren Raume und dem Wasser ist, so ist $\frac{ag}{hc} = \frac{1336}{1000}$. Zwischen dem luftleeren Raume und Luft von mittlerer Dichte ist dieses Verhältniss $\frac{100029}{100000}$, bei gewöhnlichem Crownglas $\frac{1535}{1000}$

Fig. 296.

und bei Flintglas $\frac{16}{10}$. Diese Zahlen drücken übrigens nur das mittlere Brechungsverhältniss des Lichtes aus, und sind, wie später gezeigt werden wird, beim rothen Lichte etwas kleiner, und beim violetten etwas grösser.

Ist das Brechungsverhältniss $= n$, der Einfallswinkel $= x$, der Brechungswinkel $= y$, so ist $\frac{\sin. x}{\sin. y} = n$. Sind zwei dieser Grössen bekannt, so kann die dritte also immer durch Rechnung gefunden werden.

Nach *Fresnel's* Hypothese ist die Dichtigkeit des in einem Körper von dem Brechungsverhältniss n vorhandenen Aethers $= n^2$, wenn seine Dichte im leeren Raum $= 1$ angenommen wird. Der Theil des Aethers, welcher in dem Körper fest gebunden ist, muss dann $= n^2 - 1$ sein. Dieser Ausdruck heisst auch *die brechende Kraft*, und diese dividirt durch die Dichte d also $\frac{n^2 - 1}{d}$ das Brechungsvermögen einer Substanz.

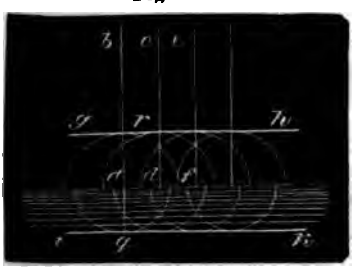
§. 229.

Zur Erklärung dieser Erscheinung nimmt man an, dass sich in jedem Körper der Aether in einem Zustande von grösserer Dichte befinde als im leeren Raume, dass aber seine Elastizität darum nicht in gleichem Verhältniss mit der Dichte zugenommen habe. Da hieraus eine langsamere Fortpflanzung seiner Schwingungen folgt, so wird also ein Aethertheilchen a, Fig. 297, welches von dem Lichtstrahle ba in einer Richtung getroffen wird, die senkrecht zur Oberfläche mn eines Körpers ist, zwei verschiedene Wellen erzeugen. Die eine Welle wird z. B. mit der Geschwindigkeit ac in den leeren Raum zurückgehen und als reflectirtes Licht erscheinen, die andere aber wird sich mit der Geschwindigkeit ad in dem Körper fortpflanzen. Ebenso erzeugen mehrere neben einander senkrecht auffallende Lichtstrahlen ba, cd und ef, Fig. 298, die reflectirte Welle gh und die in dem Körper fortschreitende Welle ik. Die Geschwindigkeit der ersten wird alsdann durch ar, und die der letztern durch aq ausgedrückt. Da durch einen senkrechten Strahlenbüschel, also durch eine mit der Oberfläche des Körpers parallele Welle, alle Theile desselben zugleich getroffen werden, so sind auch alle Elementarwellen gleich gross, und daher die durch ihre Interferenz entstehende Welle ik auch parallel zur Oberfläche, folglich der Lichtstrahl senkrecht.

Fig. 297.

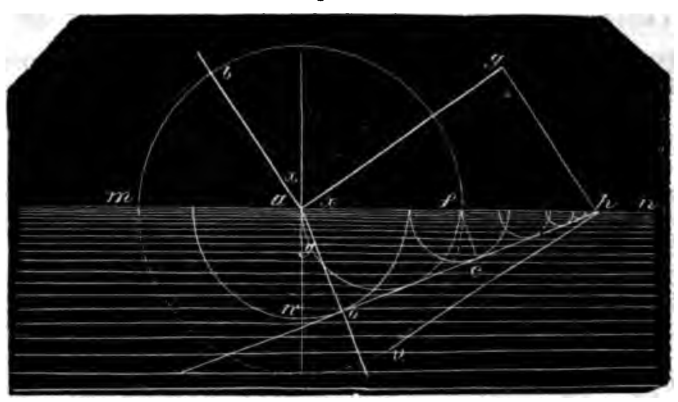


Fig. 298.



Fällt aber der Lichtstrahl ba, Fig. 299, welcher zur geradlinigten Welle ag senkrecht ist, schief auf die Oberfläche eines Körpers mn, und rückt die Welle ag in einem Zeittheilchen im leeren Raume um die Linie $gh = ab$ weiter fort, so wird das Aethertheilchen in a schon die

Fig. 299.



durch den kleinen Kreis, dessen Radius ao ist, angedeutete Welle erregt haben, wenn das Aethertheilchen in h gerade durch die fortschreitende Welle ag getroffen wird. Nach halb so viel Zeit wird das in der Mitte von ah liegende Aethertheilchen f von der Welle ag getroffen. In dem Augenblick, in welchem also die Welle ao schon gebildet ist, und bei h sich erst eine Welle zu bilden anfängt, ist die bei f entstehende Welle fc erst halb so gross als ao. Auf dieselbe Art nehmen die übrigen zwischen a und h entstehenden Wellen gegen h an Grösse ab, und es entsteht darum durch ihre Interferenz die Welle ho, welche die Tangente der verschiedenen kleinen Kreise und also auch des Kreises ao ist. Die zur Welle ho senkrechte Linie ao ist die Richtung, in welcher das Licht in dem Körper fortschreitet, oder der gebrochene Strahl, und y ist darum der Brechungswinkel. Da nun der Winkel y gleich dem Winkel aho und ebenso der Einfallswinkel x gleich gah, so ist auch $\frac{\sin. x}{\sin. y} = \frac{\sin. gah}{\sin. aho}$. Nun ist $\sin. gah = \frac{gh}{ah}$ und $\sin. aho = \frac{ao}{ah}$, folglich $\frac{\sin. gah}{\sin. aho} = \frac{gh}{ao}$ oder $\frac{\sin. x}{\sin. y} = \frac{gh}{ao}$. Da aber gh der Raum ist, um welchen das Licht im leeren Raum fortschritt, während es im Körper den Raum ao zurücklegte, so *ist also das Brechungsverhältniss dem constanten Verhältnisse der Geschwindigkeiten gleich, mit welchen das Licht im leeren Raume und in dem festen Körper fortgeht.* Wenn sich also das Verhältniss der Geschwindigkeiten nicht ändert, so kann sich auch das von $\sin. x$ zu $\sin. y$ nicht ändern, wie gross auch der Einfallswinkel x sein mag.

Aus dem Obigen folgt zugleich, dass *der Winkel, welchen die einfallende Welle ag mit der Oberfläche bildet, dem Einfallswinkel des Strahls ba gleich ist; dass ebenso der Winkel, welchen die Welle ho mit der Oberfläche bildet, dem Brechungswinkel y gleicht.* Zieht man daher an den grössern Kreis, dessen Radius ba oder gh ist, die Tangente hu, so wird diese zu ag parallel, und es ist auch der Winkel ahu gleich x. *Der Winkel ohu, welchen die beiden Wellen mit einander bilden, ist also gleich dem Ablenkungswinkel $x - y$.* Je kleiner der Einfallswinkel x oder gah ist, desto weiter muss der Punkt h fortrücken, wenn die Linie

$gh = ab$ bleiben soll. Je weiter aber h von a entfernt ist, desto kleiner wird der Winkel ohu; daraus folgt, *dass bei demselben Brechungsverhältniss die Ablenkung um so kleiner wird, je kleiner der Einfallswinkel ist.*

Bei der vorstehenden Erklärung ist vorausgesetzt, dass ag eine gerade Linie sei. Rückt man die ganze Figur längs einer zur Ebene des Papiers in a senkrechten Linie fort, so wird ag eine *ebene* Welle, und ebenso auch ho. Wenn ag eine kugelförmige Welle ist, so wird ho keine Kugelwelle, sondern eine von der Kugel verschiedene krumme Fläche.

Nach *Fresnels* Vermuthung, welche durch *Fizeau's* Versuche unterstützt wird, nimmt der in bewegten Körpern eingeschlossene Aether an der Bewegung Theil, ohne ihre ganze Geschwindigkeit anzunehmen. Die Grösse seiner Geschwindigkeitsänderung ist wahrscheinlich um so merklicher, je stärker das Licht von dem bewegten Mittel gebrochen wird. In einer Röhre mit Wasser wurde z. B. nach *Fizeau* die Geschwindigkeit des Lichtes grösser, wenn es in gleicher Richtung mit der Bewegung des Stromes ging, und kleiner, wenn die Richtung entgegengesetzt war.

Nach der Emanationstheorie müsste die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser vermöge seiner Anziehungskraft grösser sein, als im leeren Raume, während oben angenommen wurde, sie sei kleiner. Um diesen Hauptunterschied in der Erklärung der Brechung zu entscheiden, schlug *Arago* schon im Jahr 1838 Versuche vor, die auf Folgendem beruhen: Man lasse zwei parallele Lichtstrahlen 1 und 2, Fig. 300, durch zwei Spaltöffnungen in das dunkle Zimmer auf einen Spiegel ss fallen, der sie so nach einem zweiten Spiegel rr wirft, dass sie ihn senkrecht treffen. Sie werden alsdann auf demselben Weg zurückkehren, und ein in o befindliches Auge wird sie in der Richtung os als zwei Lichtpunkte wahrnehmen. Wenn aber der Spiegel während der Zeit, in welcher das Licht den Weg rs hin und her zurücklegt, sich um seine Achse xy, die senkrecht zu os ist, nur um eine Kleinigkeit dreht, so wird das in o befindliche Auge die beiden Lichtpunkte, je nach der Richtung der Drehung, an einer etwas höhern oder tiefern Stelle des Spiegels erblicken. Dreht sich nun der Spiegel ss mit einer grossen Geschwindigkeit z. B. 1000mal in 1 Sekunde um seine Achse, so können jedesmal nur zwei Lichtblitze in das Auge o kommen, wenn der Spiegel ss wieder in der oben angenommenen Stellung ist. Die Eindrücke dieser Lichtblitze wiederholen sich 1000mal in 1 Sekunde, und man muss darum in der Richtung os zwei Lichtpunkte sehen, die sich auf einer horizontalen Linie befinden. Bringt man nun zwischen die Spiegel ss und rr eine Röhre ww mit Wasser, die oben und unten durch eine Glasplatte geschlossen ist, so muss der Strahl 1 den Doppelweg durch die Luft, der Strahl 2 durch das Wasser machen. Wenn der eine Strahl früher nach ss zurückkehrt, als der andere, so muss in der Zwischenzeit die Stellung des Spiegels ss bei seiner schnellen Drehung sich ändern, die beiden Lichtpunkte können also dem Auge o nicht mehr in *einer* horizontalen Linie erscheinen. Aus der Verschiebung ihrer Bilder und der Schnelligkeit der durch ein Uhrwerk regulirten Drehung des Spiegels ergibt sich das Verhältniss der Geschwindigkeiten, mit welcher das Licht den Doppelweg durch die Luft und das Wasser gemacht hat. *Foucault*, so wie auch *Fizeau* und *L. Breguet* haben bei ihren, auf diesem Gedanken beruhenden, in der letzten Zeit angestellten Versuchen gefunden, dass die Zeit, die das Licht auf dem Doppelweg durch eine nur 2 Meter lange Röhre mit Wasser brauchte, in der That merklich grösser ist, als die Zeit, die es braucht durch die Luft.

Fig. 300.



§. 230.

Wenn ein Lichtstrahl an der Gränze eines Körpers angekommen ist, so erregt er in dem Aether des angränzenden Mittels Schwingungen, deren Geschwindigkeit nur von der Dichte und Elastizität des Aethers in diesem Mittel abhängt. Die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser ist nach §. 228 gleich 1000, wenn die Geschwindigkeit desselben im leeren Raume gleich 1336 angenommen wird. Das Brechungsverhältniss aus dem Wasser in den leeren Raum ist also gleich $\frac{1000}{1336}$ oder der umgekehrte Bruch des vorigen Ausdruckes, oder im Allgemeinen ist $\frac{1}{n}$ das Brechungsverhältniss aus dem Mittel A in das Mittel B, wenn n das Brechungsverhältniss aus B in A ist. Daraus folgt ferner, dass, wenn (Fig. 296, Seite 252) ein Lichtstrahl bc aus einem Körper nach der Oberfläche mn sich fortbewegt und bei b auf den leeren Raum trifft, er nach der Richtung ba in demselben fortgehen muss, wenn ein Lichtstrahl ab, der aus dem leeren Raume auf mn fällt, nach der Richtung bc in dem Körper fortgegangen wäre.

Bezeichnen daher, Fig. 301, die parallelen Linien mn und op die Oberflächen eines Körpers, der vom leeren Raume umgeben ist, und ist ab ein Lichtstrahl, so wird er nach bg gebrochen. Zieht man bei b und g das entsprechende Neigungsloth bd und fg, so ist der Winkel $y = z$. Da aber zwischen dem Sinus von z und dem von o dasselbe Verhältniss stattfindet, wie zwischen dem Sinus von y und dem von x, so muss auch der Winkel o gleich dem Winkel x sein, also ist der ausfahrende Lichtstrahl oh parallel dem einfallenden ab. *Die Richtung des Lichtes wird also nicht verändert, wenn es durch einen Körper mit parallelen Oberflächen gegangen ist.*

Fig. 301.

§. 231.

Wenn ein Lichtstrahl sb, Fig. 302, auf einen Körper fällt, dessen gegenüberstehende Flächen geneigt sind, wie bei dem Glasprisma mn, so findet man auch nach §. 229 den Einfallswinkel x, indem man zu sb die senkrechte Welle bg errichtet. Zieht man nun in dem Prisma die Linie or unter einem Winkel y, der so gross ist, dass $\frac{\sin. x}{\sin. y} = n$ oder gleich dem Brechungsverhältniss aus dem

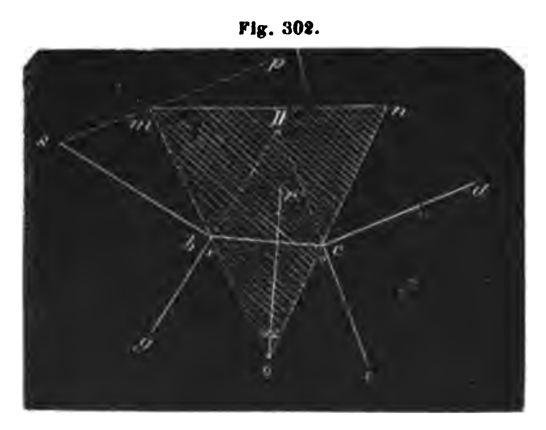


Fig. 302.

leeren Raum in das Glas ist, so wird die zu or senkrechte Linie bc der gebrochene Strahl. Bei c erfährt der Strahl bc eine zweite Brechung, indem seine Welle ro zur Fläche no unter dem Winkel z geneigt ist. Bezeichnet cd seine nachherige Richtung, oder die zu cd Senkrechte ce die austretende Welle, und v die Neigung von ce zur Fläche no, so muss wieder v so gross gemacht werden, dass $\frac{\sin v}{\sin z} = n$ ist. Den Winkel mon nennt man *den brechenden Winkel des Prisma.* Bezeichnen wir ihn durch α, so ist also $y + z = \alpha$.

Macht man sp parallel cd, so ist der Winkel psb die Neigung der Strahlen sb und cd, oder die *Ablenkung des Strahls* sb. Diese Neigung muss aber eben so gross als die der Wellen bg und ce oder als der Winkel $gDe = D$ sein. Nun ist aus der Geometrie bekannt, dass $x + v = D + \alpha$ oder dass $D = x + v - \alpha$. Die Ablenkung D wird ein *Minimum*, wenn der Strahl so auffällt, dass $y = z = \frac{\alpha}{2}$ wird. Da aber in diesem Fall auch $x = v$, so ist also *die Ablenkung ein Minimum, wenn der einfallende und der austretende Strahl mit dem Prisma gleiche Winkel bilden.*

Angenommen, es sei für diesen Fall der Einfallswinkel x gleich a, so ist die Ablenkung $D = 2a - \alpha$, folglich $a = \frac{D + \alpha}{2}$, und da alsdann $y = \frac{\alpha}{2}$, so ist das Brechungsverhältniss

$$n = \frac{\sin\left(\frac{D + \alpha}{2}\right)}{\sin\frac{\alpha}{2}}$$

Diese Formel ist sehr wichtig, weil sie dazu dient, das Brechungsverhältniss jedes Körpers, den man in eine prismatische Form gebracht hat, aus der gemessenen Ablenkung und dem brechenden Winkel des Prisma zu berechnen.

Aus der obigen Figur sieht man, dass ein Lichtstrahl, der von einem Punkte s herkommt, das Auge in d in einer Richtung trifft, als käme er von einem niedriger liegenden Punkte in der Richtung dc. Daher sieht man durch ein Prisma höher liegende Gegenstände am Boden, wenn der Winkel o nach unten gerichtet ist. Dass übrigens auch bei der Brechung in b, so wie bei der in c ein Theil des Lichtes zurückgeworfen wird, folgt schon aus dem Frühern und kann leicht nachgewiesen werden, wenn man einen Lichtstrahl in ein dunkles Zimmer auf ein Prisma fallen lässt. Aus dem Obigen kann man sich auch das Entstehen der vielfachen Bilder eines Gegenstandes, welchen man durch ein polyedrisches Glas betrachtet, erklären, so wie die Zerrbilder, die sich in einem konisch geschliffenen Glas wieder zu regelmässigen Bildern gestalten.

Dass die Ablenkung D ein Minimum wird, wenn $y = z = \frac{\alpha}{2}$ ist, ergibt sich

aus Folgendem: Angenommen, es sei $y = \frac{\alpha}{2} + r$, so ist $z = \frac{\alpha}{2} - r$, weil immer $y + z = \alpha$ ist. In diesem Fall muss aber auch x grösser als das obige a, und v kleiner als dieses a sein. Setzt man darum $x = a + i$ und $v = a - i_{,}$, so ist jedenfalls

$$\frac{\sin (a - i_{,})}{\sin\left(\frac{\alpha}{2} - r\right)} = \frac{\sin a}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin (a + i)}{\sin\left(\frac{\alpha}{2} + r\right)}$$

Nun wird unter diesen Bedingungen die Zunahme des Einfallswinkels immer grösser, wenn der Brechungswinkel um etwas Bestimmtes wächst. Vergl. §. 229. Nimmt $\frac{\alpha}{2} - r$ zu um r, so wächst $a - i_{,}$ um $i_{,}$. Wenn also $\frac{\alpha}{2}$ um dasselbe r wächst, so muss a um mehr als $i_{,}$ zunehmen, folglich muss i grösser sein, als $i_{,}$. Setzt man darum $i = i_{,} + S$, so wird $x = a + i_{,} + S$, und die Ablenkung $D = x + v - \alpha$ wird gleich $a + i_{,} + S + a - i_{,} - \alpha$ oder gleich $2a + S - \alpha$, folglich grösser als die Ablenkung $D = 2a - \alpha$, die man erhielt, als die Winkel y und z gleich waren. Nähme man y kleiner als $\frac{\alpha}{2}$ an, so erhielte man nur den umgekehrten Weg für den Lichtstrahl, wie bei obiger Betrachtung; also gleichfalls eine grössere Ablenkung, als wenn $y = \frac{\alpha}{2}$ ist.

Der Ablenkungswinkel D wird auf folgende Art gefunden: Man richtet ein zum Messen von Winkeln bestimmtes, auf einem horizontalen Kreis a befestigtes Fernrohr A, Fig. 303, auf einen entfernten Lichtpunkt und notirt seine Stellung gegen die Theilung des Kreises. Indem man nun an dem Objectivende des Fernrohrs ein kleines Tischchen befestigt, und das zu untersuchende Prisma davor stellt, kann man obigen Lichtpunkt wegen der Brechung nicht mehr sehen. Man muss also das Fernrohr in eine gegen die vorige geneigte Lage bringen, bis das gesehene Licht wieder zum Vorschein kommt. Dreht man nun das Prisma vor dem Objectivglas des Fernrohrs, so wird das Licht wieder verschoben. Man bemerkt aber bald, dass diese Verschiebung bei jeder Drehung des Prisma an einer gewissen Gränze stets wieder in gleicher Richtung umkehrt, und diese ist das oben erwähnte Minimum. Stellt man nun das Fernrohr so, dass das Licht bei dem Minimum der Ablenkung in der Richtung des Fadenkreuzes vom Ocular gesehen wird, so gibt der getheilte Kreis die Neigung oder den obigen Winkel D an. Genauer erhält man diesen Winkel, wenn man nun ebenso die Ablenkung in der umgekehrten Lage des Prisma bestimmt und aus beiden das Mittel nimmt.

Fig. 303.

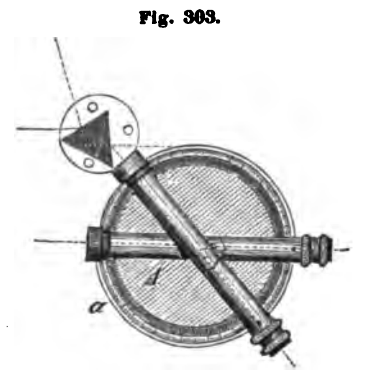
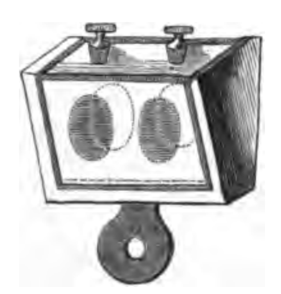


Fig. 304.



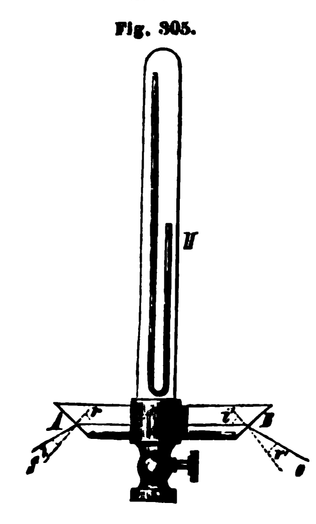
Bei der Bestimmung des Brechungsvermögens von tropfbaren Flüssigkeiten bedient man sich eines Prisma's von Glas, welches wie in Fig. 304 doppelt durchbohrt ist und auf dessen eben geschliffene Seiten man zwei Glasplatten mit parallelen Oberflächen kittet. Zwei engere Oeffnungen, die mit eingeschliffenen Glasstöpseln versehen sind, dienen zum Einfüllen der verschiedenen Flüssigkeiten.

Bei den von *Steinheil* zu diesem Zweck verfertigten Prismen sind die Glasplatten und die Seiten des Prisma so vollkommen eben, dass sie ohne Kitt an einander haften. Sie haben nur eine Durchbohrung.

Für Brechung des Lichts aus der Luft in den luftleeren Raum, oder in andere Gase, wendet man ein Prisma an, das aus einem 2 bis 3 Centimeter weiten

Glasrohr AB, Fig. 305, von $^1/_3$ Meter Länge besteht und an beiden Enden sehr schief abgeschliffen ist, so dass die zur Schliessung derselben aufgekitteten Glasplatten einen Winkel α von 140 bis 150° bilden.

Fig. 305.



Diese Röhre steht auf der obern Seite in Verbindung mit der Glocke H, in der sich ein Heberbarometer befindet, auf der untern mit einem Hahn, der auf der Luftpumpe aufgeschraubt wird, um die Röhre luftleer zu machen und die zu untersuchenden Gase hinein zu leiten.

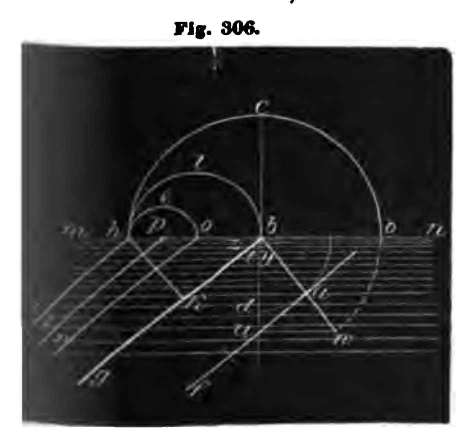
Ist SA ein Lichtstrahl, welcher nach AB gebrochen wird und in der Richtung BO austritt, und sind die Winkel i und r', also auch r und i' einander gleich, die Ablenkung also ein Minimum: so findet man das Brechungsverhältniss nach der obigen Formel aus der Luft in den leeren Raum oder in ein beliebiges Gas, welches die Röhre enthält. Aus dem ersten und zweiten aber ergibt sich das Brechungsverhältniss aus Luft in das Gas. Mit Hülfe dieses Apparates haben Biot und Arago gefunden, dass das Brechungsverhältniss n der Gase sehr klein ist, und dass, wenn man durch $n^2 - 1$ die *Brechkraft* bezeichnet, diese Kraft der Dichte eines Gases proportional ist. Inzwischen findet zwischen den Brechungsverhältnissen verschiedener Gase keine bestimmte Beziehung statt; doch ist die brechende Kraft einer Mischung, der Summe der brechenden Kräfte der Elemente gleich. Bei chemischen Verbindungen der Gase ist sie bald grösser, bald kleiner als die Summe.

Aus der Fig. 301, Seite 256, geht hervor, dass bei Licht, welches schief auf eine Platte mit parallelen Oberflächen fällt, der einfallende Strahl ab und der austretende gh zwar parallel aber durch einen Zwischenraum von einander getrennt sind. Dieser hängt von dem Brechungsvermögen, dem Einfallswinkel und von der Dicke der Platte ab. *Bernard* hat darauf eine Methode gegründet, das Brechungsverhältniss aus diesem Abstande, aus der Dicke und dem Einfallswinkel zu bestimmen.

§. 232.

Es ist schon früher darauf aufmerksam gemacht worden, dass ein Lichtstrahl ab (Fig. 296, Seite 252) um so weniger auf die Aethertheilchen eines Körpers wirken wird, je schiefer er auf die Oberfläche mn desselben fällt, oder je grösser der Einfallswinkel x ist. Ebenso wird auch ein Lichtstrahl bc, welcher aus einem Körper in den leeren Raum bei b übergehen soll, um so weniger Schwingungen in diesem erregen, je grösser der Winkel y ist. Die folgende Betrachtung zeigt, dass dieser Winkel sogar eine Grösse haben kann, bei welcher kein Licht mehr aus dem festen Körper in den leeren Raum übergehen scheint. Bezeichnet mn, Fig. 306, die Oberfläche des Körpers, in welchem das Licht die Geschwindigkeit bd hat, während es im leeren Raume mit der Geschwindigkeit bc fortgeht, so erzeugt das Aethertheilchen b, wenn

Fig. 306.



es von der in der Richtung von a nach b fortschreitenden Wel
der Lage gb getroffen wird, im leeren Raume die Welle hcv, ·
bg bis ih fortschreitet, unter der Voraussetzung, dass hk gl
also gleich ba ist. In der Zeit, in welcher die Welle bg von o
fortschreitet, erregt das Aethertheilchen o im leeren Raume di
hlb, wenn o in der Mitte von bh liegt. Während sp bis ih f
erzeugt das Aethertheilchen p die Welle heo, wenn p in der M
ho liegt u. s. w. Wenn also die Welle bg in ih ankommt, so
in h alle von den Aethertheilchen p, o und b und den dazwisc
genden Punkten erregten Wellen zugleich an; es entsteht also ei
der Richtung bh oder längs der Oberfläche fortschreitende We
die Wellen heo, hlb und hcv sich nirgends sonst durchschnei
geht, ausser dem längs der Oberfläche fortschreitenden Lichte, so
kein Licht in den leeren Raum über. Damit aber das Licht n
Richtung bh fortgehe, muss hk seine Geschwindigkeit und Rich
Körper und bh seine Geschwindigkeit im leeren Raume sein.

also der Einfallswinkel z oder y eine solche Grösse haben,

gleich dem Brechungsverhältniss aus dem Körper in den angrä
Raum ist. Dieser Winkel beträgt z. B. bei einem Lichtstrahl,
dem Wasser in den leeren Raum übergeht, und dann parallel

Oberfläche des Wassers wird, $48^0\ 27'\ 40''$, weil sin $48^0\ 27'\ 40''$

ist, und diese Zahlen nach §. 230 das umgekehrte Brechungsve
angeben.

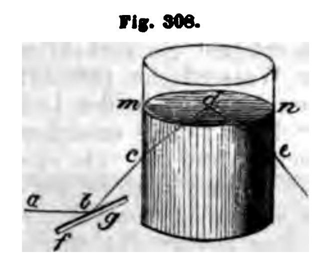
Daraus folgt, dass ein Mensch unter dem Wasser die äuss
genstände nur durch eine kreisförmige Oeffnung von $96^0\ 55'$
Durchmesser sieht. Den Winkel y, unter dem nach der obiger
rung ein Lichtstrahl auffallen muss, um nach der Brechung lä
Oberfläche fortzugehen, nennt man den Winkel der *totalen R*
weil man ehemals glaubte, dass alles Licht nach Innen zurück
werde.

Man sieht aber aus der Fig. 306, dass die Elementarwel
nur in der Richtung bh verstärken. Wird der Einfallswinkel y
noch grösser als oben, so liegen alle Elementarwellen über de
fläche so in einander, dass keine die andere mehr berührt,
durch eine ähnliche Construction leicht findet, und daher ko
dass man nun in keiner Richtung von oben einen sogenannten Lic
mehr wahrnimmt.

Fig. 307.

Cauchy hat durch seine analytischen Unt
gen gefunden, dass die Intensität des längs
fläche fortgehenden Lichtstrahls wenigstens
grösser ist, als die des einfallenden Lichtstr
diesen Strahl durch die Erfahrung nachzuweise
man ein Glasprisma abc, Fig. 307, dessen Gr
ein rechtwinklichtes Dreieck ist, und überkleb
neren Flächen ab und bc mit schwarzem Pa
nun die eine Bedeckung in d ein kleines Loch
man das Prisma so halten, dass der von dem
kommende Lichtstrahl fd die grössere Fläche
dem Winkel der totalen Reflexion trifft und
der Richtung mc in das Auge o gelangt. Hi

Fig. 308.



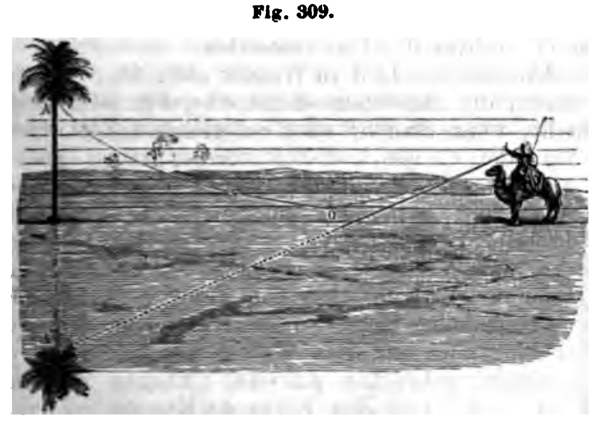
klärt sich das blendende Licht mancher geschliffenen Steine, z. B. der Diamanten, welches sie in dieser Richtung verbreiten. Zur objectiven Darstellung der obigen Erscheinung dient ein grosses cylindrisches Gefäss *mn*, Fig. 308, mit durch Kreide getrübtem Wasser und ein Spiegel *fg*, auf welchen man mittelst eines Heliostats einen Sonnenstrahl *ab* fallen lässt; dieser wird nach *bc* reflectirt, nach *cd* gebrochen und kann dann entweder längs der Oberfläche des Wassers fortgehen oder ganz nach *de* reflectirt werden. Indem die Kreidetheilchen erleuchtet sind, ist die Richtung des Strahls sehr deutlich zu sehen.

§. 233.

Aus den im vorigen §. angegebenen Ursachen muss also ein Lichtstrahl längs der Oberfläche eines Körpers fortgehen, wenn er in diesem Körper mit dem Neigungsloth einen Winkel bildet, dessen *Sinus* gleich dem Brechungsverhältniss aus diesem Körper in den angränzenden Raum ist. Wird dieser Winkel grösser, so nimmt man keinen Lichtstrahl mehr in dem angränzenden Mittel wahr; da aber bei einem grössern Einfallswinkel das von der Oberfläche reflectirte Licht immer mehr zunimmt, so scheint es, als gehe der Lichtstrahl nun erst in den Körper zurück. Die Reflexion von der innern Fläche kann man wie in Fig. 308 deutlich wahrnehmen, oder wenn man in ein mit Wasser gefülltes Trinkglas einen Schlüssel oder dergleichen stellt und von unten in schiefer Richtung betrachtet. Es wird auf diese Art mehr Licht zurückgeworfen als durch die besten Spiegel. Eine andere Folge der innern Reflexion ist folgende Erscheinung: Taucht man in ein mit Wasser gefülltes Trinkglas ein leeres Reagentien-Gläschen schief ein, so erscheint es, von oben betrachtet, wie Silber. Giesst man aber Wasser hinein, so verschwindet dieser Schein.

Auch manche Luftbilder erklärt man durch die Zurückwerfung der Lichtstrahlen, wenn sie unter einem sehr spitzen Winkel aus einer dichtern Luftschichte auf eine dünnere, z. B. die erhitzte Luft an der Oberfläche der Erde, fallen. Indem die dünne Luft das Licht weniger bricht, als die dichtere, wird der Brechungswinkel beim Uebergang aus der dichtern in die dünnere Luft immer grösser, folglich auch wenn der Lichtstrahl aus kälterer Luft in heissere übergeht. In den heissen Sandwüsten Afrika's ist oft die Luft am Boden viel heisser, als in geringer Höhe darüber. Der Lichtstrahl, welcher von dem Baum *A*, Figur 309, in die untere Luftschichte eindringt, erleidet so in einer gewissen Tiefe bei *o* die

Fig. 309.



totale Reflexion und erhebt sich wieder in den kältern Schicht
langt er nun in das Auge eines Beobachters, so entsteht ein ve
Bild, wie wenn der Lichtstrahl in o von einer Wasserfläche
worden wäre. Zuweilen sieht man auch an der See hoch in
die verkehrten Bilder von entfernten Ufern und Schiffen; diese e
wenn die Luftschichte über dem Meer beträchtlich dichter ist,
über ihr befindliche heisse Schichte Luft. Hierauf beruhen die *f*
gagna. Man kann auch die Luftspiegelung sehr oft auf ebenen
von ziemlicher Ausdehnung beobachten, welche dem Sonnenlich
setzt sind, und selbst längs Mauern.

§. 234.

Wenn n das Brechungsverhältniss des Lichts aus dem K
in den Körper B ist, so ist nach §. 229 die Geschwindigkeit de
in A n mal so gross als in B. Bezeichnet ebenso n' das Bre
verhältniss aus A in den Körper C, so ist die Geschwindigke
n' mal so gross als in C. Setzt man daher die Geschwindigkeit in
so ist die Geschwindigkeit des Lichtes in $B = \frac{1}{n}$ und in C
Das Brechungs- oder Geschwindigkeitsverhältniss von B und C
dann $\frac{1}{n} : \frac{1}{n'}$ oder gleich $\frac{n'}{n}$. Um also das Brechungsverhältnis
Körper B und C zu finden, wenn das von einem dritten A zu
von A zu C bekannt ist, muss man das Brechungsverhältniss
durch das von B dividiren. So ist z. B. nach dem Frühern d
chungsverhältniss vom leeren Raum in die Luft gleich 1,00029
vom leeren Raum in das Wasser gleich 1,336, folglich ist das
Luft in das Wasser gleich $\frac{1,336}{1,00029}$ oder ohngefähr $\frac{4}{3}$, und das v
in Glas $\frac{1,535}{1,00029}$ oder ohngefähr $\frac{3}{2}$. Da ferner das Brechungsver
nur das Verhältniss der Geschwindigkeiten des Lichtes in versch
Mitteln ist, so kann man alle auf die Brechung des Lichtes beim
gange aus dem leeren Raume in feste Körper sich beziehenden
welche von §. 228 bis 233 erläutert worden sind, auch auf die B
aus Luft in Wasser, Wasser in Glas u. s. w. anwenden.

Da das Brechungsverhältniss aus Luft in Wasser ohngefähr
so erklärt sich daraus, warum die gebrochene Linie abc, Fig. 31
gerade Linie zu sein scheint, wenn man bf oder ad gleich 4 Z
bg oder ec gleich 3 Zoll, ferner ab so
als bc macht, und den untern Theil diese
nung bis fg in's Wasser taucht, und
Richtung von a nach b betrachtet. Da
die Linie bc die Verlängerung von ab
scheint, so glaubt man den Punkt c in
an einer höher liegenden Stelle zu sehen.
scheint auch ein in's Wasser getauchte
aufwärts gebrochen zu sein. Ebenso
sich nun leicht das bekannte Kunststü
einer Münze, welche man in eine Schüss

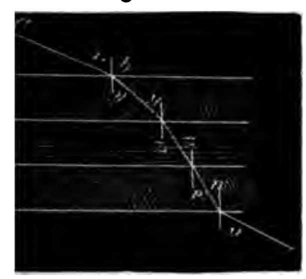
Fig. 310.



l einem Andern, der sie in gerader Richtung nicht sehen kann, durch die Schüssel gegossenes Wasser sichtbar macht.

Wenn in Fig. 311 ein Lichtstrahl auf eine Schichte von 3 Körpern *A, B, C* parallelen Oberflächen fällt und das Brechungsverhältniss aus Luft in *A* ist gleich n, aus Luft in B gleich m und aus Luft in C gleich p, so ist

Fig. 311.



$$\frac{\sin x}{\sin y} = n, \frac{\sin y}{\sin z} = \frac{m}{n}, \frac{\sin z}{\sin w} = \frac{p}{m} \text{ und } \frac{\sin w}{\sin u} = \frac{1}{p}.$$

Multiplicirt man diese Gleichungen mit einander, so wird $\frac{\sin x}{\sin u} = 1$, also $x = u$. *Ein Lichtstrahl, der durch mehrere Mittel mit parallelen Oberflächen gegangen ist und wieder in's vorige Mittel zurückgeht, ist also nach der Brechung seiner frühern Richtung parallel.*

Will man den Winkel der totalen Reflexion aus dem Mittel B in das Mittel A finden, so muss man nach §. 232 sin z gleich dem Brechungsverhältniss B in A setzen; dieses ist aber $= \frac{n}{m}$, folglich wird der Winkel z durch die Glei-ng $\sin z = \frac{n}{m}$ gefunden.

§. 235.

Das Brechungsverhältniss ist, wie die obigen Beispiele schon zei-ı, sehr verschieden, und man kennt bis jetzt noch kein Gesetz, nach ·chem es sich richtet. Die einzige Annäherung an eine allgemeine gel ist bis jetzt die Erfahrung, dass alle brennbaren Körper das Licht ıonders stark brechen. Darum vermuthete schon *Newton*, dass der ımant ein brennbarer Körper sei, und dass das Wasser ebenfalls en brennbaren Stoff enthalten müsse. Die Luft bricht das Licht um stärker, je dichter sie ist, und dieser Regel folgen auch alle übrigen se. Die Temperatur ändert das Brechungsvermögen eines Körpers r in so ferne, als sie Einfluss auf seine Dichte hat. Nach *Jamin* ımt das Brechungsvermögen der Körper mit der Abnahme der Tem-ratur zu und ist also selbst beim Wasser von 0° grösser als bei 4°, es seine grösste Dichte hat.

Aus den bekannten Brechungsverhältnissen zweier Gase lässt sich s Brechungsverhältniss eines Gemisches derselben berechnen. Dasselbe nach *M. Hoeck* auch bei der Mischung zweier Flüssigkeiten der Fall. i festen Körpern ist es jedoch bis jetzt noch nicht gelungen.

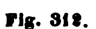
Folgende Zahlen geben die Brechungs-Verhältnisse aus dem leeren ım in nachstehende Körper an, und sind auf die im §. 231 beschrie-ne Art gefunden worden:

Leerer Raum	1,000000	Kalkspath, gew. Br.	1,654
Wasserstoffgas	1,000138	„ ungew. Br.	1,483
Sauerstoffgas	1,000272	Crownglas	1,503
Stickgas	1,000300	Bergkrystall	1,547
Atmosphärische Luft	1,000294	Flintglas von *Dollond*	1,584
Oelbildendes Gas	1,000678	„ von *Fraunhofer*	1,642
Schwefel, natürlicher	2,115	Phosphor	2,424
Eis	1,308	Diamant	2,500
Wasser	1,336	Realgar	2,549
Alkohol, absoluter	1,375	Quecksilber, wahrscheinlich	5,829
Terpentinöl	1,476		

§ 236.

Da nach dem vorigen §. dichtere Luft das Licht stärker bricht, so muss ein Lichtstrahl, der von einem Weltkörper schief auf unsere Atmosphäre fällt, durch immer dichtere Luftschichten gehen und desshalb einen krummlinigten Weg beschreiben. Darauf beruht die *astronomische Strahlenbrechung.* Im Horizonte, wo sie am grössten ist, beträgt sie 30 Minuten, und desshalb sehen wir die Sonne noch, wenn sie schon untergegangen ist. Da das Licht von dem untern Rande der Sonne stärker gebrochen werden muss, als das von dem obern, so scheint uns die am Horizont stehende Sonne unten stärker abgeplattet zu sein als oben. Auch die irdische Strahlenbrechung beruht hierauf.

Das Licht von einem höher liegenden Punkt *c*, Fig. 312, wird bei dem Uebergang von einer dünneren Luftschichte in eine dichtere stets gebrochen, so dass es in *a* nicht in der geraden Linie *ca*, sondern auf der krummlinigten Bahn ankommt. In *a* sieht man alsdann den Punkt *c* in der Richtung *ab*, welche die Tangente der krummen Linie ist. Ebenso sieht man in *c* den in der Ebene liegenden Punkt *a* in der Richtung *cd*. Bei nicht sehr grossen Höhenunterschieden findet man aber den richtigen Neigungswinkel, welchen die Linie *ac* mit den vertikalen Linien *az* und *ch* macht, wenn man die Hälfte von der Summe der Winkel *zab* und *dch* nimmt.


Fig. 312.



Das scheinbare Zittern der Gegenstände in bewegter oder erhitzter Luft rührt von der ungleichen Dichte derselben her. Die Lichtstrahlen werden dadurch bald nach der einen, bald nach der andern Seite gebrochen, und kommen daher nicht immer in derselben Richtung in's Auge. Das Funkeln der Fixsterne erklären Manche auf dieselbe Art: Indem die Fixsterne einen sehr kleinen scheinbaren Durchmesser haben, bewirkt eine veränderte Strahlenbrechung leicht eine scheinbare Veränderung ihrer Stellung. Bei den Planeten ist diess nicht der Fall, weil ihr scheinbarer Durchmesser grösser ist als die stärkste Veränderung, welche der augenblickliche Wechsel der Strahlenbrechung zu bewirken vermag. Das Funkeln der Fixsterne ist um so lebhafter, je näher sie dem Horizonte stehen, weil dort das Licht schiefer auf die Atmosphäre fällt. Es ist aber mit der Strahlenbrechung dann auch eine merkliche Farbenzerstreuung verbunden, die in vertikaler Richtung erfolgt. Die Ursache, warum man, am Ufer des Meeres stehend, zuweilen entfernte Inseln am Horizonte wahrnimmt, die man zu einer andern Zeit nicht bemerkt, ist in verstärkter Strahlenbrechung zu suchen.

§. 237.

Nach §. 224 muss die Intensität des reflectirten Lichtes mit der des gebrochenen im Zusammenhange stehen. *Poisson* hat das Verhältniss beider Intensitäten nach der Undulationstheorie durch Rechnung bestimmt, und Resultate erhalten, welche in vielen Fällen gut mit der Erfahrung übereinstimmen. *Fresnel* fand die Formeln für diese Intensi-

täten bei jedem Einfallswinkel für zwei einfach brechende Mittel, und *Cauchy* hat diese Aufgabe in Uebereinstimmung mit der Erfahrung und in vollkommener Allgemeinheit gelöst.

Wenn man die grösste Geschwindigkeit oder Vibrations-Intensität der Aethertheilchen, siehe §. 76 und 212 (nicht die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts), eines von dem Körper A auf den Körper B fallenden Lichtstrahls gleich 1 setzt, und den Einfallswinkel durch x, den Brechungswinkel in B durch y bezeichnet, so ist nach *Fresnel's* Untersuchungen *die Vibrationsintensität des zurückgeworfenen, senkrecht zur Einfallsebene schwingenden Lichtes*

$$v = \frac{\sin (x - y)}{\sin (x + y)}.$$

Dieser Ausdruck ist positiv, wenn x grösser als y, und negativ, wenn y grösser als x ist. Sein Zeichen ist daher entgegengesetzt bei der Reflexion eines Strahls, der aus Glas in Luft übergehen soll, von dem Zeichen, welches er hat, wenn er aus der Luft auf das Glas fällt, weil im ersten Fall x kleiner ist als y. Desshalb kann man auch sagen, *ein solcher Lichtstrahl werde bei der Reflexion, wenn er aus einem stärker brechenden Mittel an einem weniger brechenden Mittel ankommt, um eine halbe Wellenlänge verzögert, gegen den Strahl, der an der Oberfläche des stärker brechenden Mittels zurückgeworfen wird.*

Da die Wirkung der Schwingungen oder die Intensität des Lichtes mit dem Quadrat der Geschwindigkeit v wächst, so ist also die *Intensität des zurückgeworfenen Lichtes gleich* $\frac{\sin (x - y)^2}{\sin (x + y)^2}$. *Die Intensität des gebrochenen Strahles ist gleich* $1 - \frac{\sin (x - y)^2}{\sin (x + y)^2}$, wenn alle Wirkung, die nicht auf das reflectirte Licht verwendet wird, zur Erregung seiner Schwingungen verwendet ist.

§. 238.

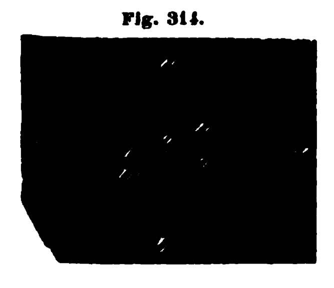
Die wichtigste Anwendung findet die Theorie der Brechung bei den sogenannten Linsengläsern, welche von Kugel-Oberflächen begränzte Körper sind. Sie werden eingetheilt (Fig. 313) in: 1* convex-convexe, 2* plan-convexe, 3* convex-concave oder Meniscus, 4* concav-concave, 5* plan-concave und 6* concav-convexe Gläser. Man verfertigt sie aus Glas, Krystall und hohlen Gläsern, deren Zwischenraum mit einer stark brechenden Flüssigkeit angefüllt wird. Auch aus Edelsteinen werden zu manchen Zwecken vorzügliche Linsengläser gemacht. Die Gläser 3* und 6* heissen auch periskopische Linsen.

Fig. 313.

1* 2* 3* 4* 5* 6*

Wenn ab, Fig. 314, der Durchschnitt eines Linsenglases, d der Mittelpunkt des Kugelabschnittes afb, c der des Kugel-Abschnittes agb und o die Mitte von fg ist, so heisst cd die *Achse der Linse* und o *ihr optischer Mittelpunkt,* im Fall beide Oberflächen des Glases gleiche Krümmung haben. Ist aber diese Krümmung verschieden, so ist der optische Mittelpunkt o ein Punkt der Achse fg, welcher so liegt, dass alle durch ihn gezogenen Linien, wie z. B. mn, solche Stellen der Oberfläche in m und n treffen, deren Tangenten parallel sind.

Fig. 314.



§. 239.

Wenn ein Lichtstrahl *am*, Fig. 315, in der Richtung der Achse auf ein convexes Glas fällt, so geht er ungebrochen durch, weil in *m* und *n* die Oberflächen parallel sind. Der Lichtstrahl *ae* muss dagegen eine Aenderung seiner Richtung erleiden. Da in den Punkten *e* und *g* die Oberflächen geneigt sind, wie in dem Prisma (Fig. 302, §. 231), so muss der gebrochene Strahl *gb* (Fig. 315) wieder nach der Achse hingelenkt werden. Aus dem nämlichen Grunde muss der Lichtstrahl *ad* nach der Brechung in der Richtung *hb* fortgehen. Sind *md* und *me* einander gleich, so treffen sich die gebrochenen Lichtstrahlen in einem Punkte *b*, welcher der Vereinigungspunkt der von *a* kommenden Lichtstrahlen heisst, weil alle nahe bei der Mitte einfallende und von *a* kommende Lichtstrahlen ebenfalls durch *b* gehen. Je näher *a* dem Glase liegt, desto weiter entfernt sich *b* davon, und je weiter sich *a* entfernt, desto näher rückt *b*. Wenn *a* unendlich weit entfernt ist, und also die Lichtstrahlen, Fig. 316, *fd* und *he* parallel zu *gn* sind, so heisst der Punkt *b*, in welchem sie nach der Brechung die Achse durchschneiden, der *Brennpunkt*, und die Linie *ob* die *Brennweite*. Wenn Lichtstrahlen wie *bd*, *be* u. s. w. aus dem Brennpunkte *b* kommen, so sieht man leicht ein, dass sie nach der Brechung parallel mit der Achse fortgehen müssen. Ist wie in Fig. 317 der leuchtende Punkt *c* noch näher als der Brennpunkt *b*, so gehen die Lichtstrahlen nach der Brechung divergirend fort; desshalb müssen auch die Lichtstrahlen, welche, wie *fg* und *hk* convergirend auf ein convexes Glas fallen, nach der Brechung in einem Punkte zusammenkommen, welcher dem Glase näher liegt als der Brennpunkt.

Fig. 315.

Fig. 316.

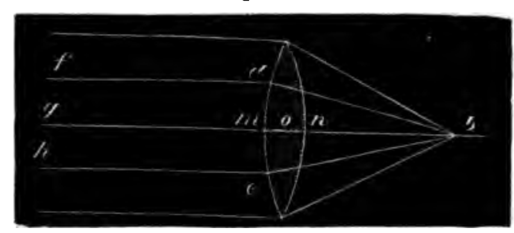
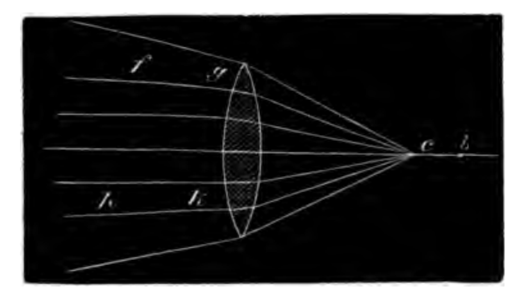
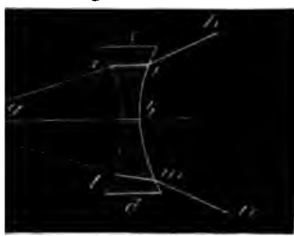


Fig. 317.



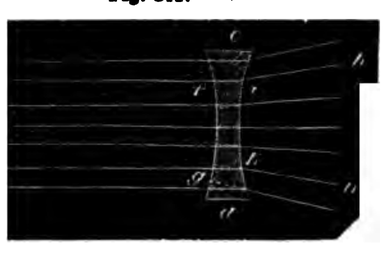
Ist *cd*, Fig. 318, ein concaves Glas, und *ab* seine Achse, so geht ein in dieser Richtung einfallender Lichtstrahl *ab* ebenfalls ungebrochen durch. Der Lichtstrahl *af*, welcher schief auf das Glas fällt, trifft dasselbe in den Punkten *f* und *i*, wo die Oberfläche, wie beim Prisma (Figur 302, Seite 256) geneigt ist, und wird daher nach der Richtung *ih*

Fig. 318.



gebrochen; ebenso geht al nach der Brechung in der Richtung mn fort. Verlängert man die Linien ih und mn, so schneiden sie die Achse in dem Punkte g. Dieser Punkt rückt dem Glase um so näher, je mehr sich ihm der leuchtende Punkt a nähert, oder je divergirender die von a kommenden Lichtstrahlen sind. Ist a unendlich weit entfernt, oder sind die Lichtstrahlen bf und eg, Fig. 319, parallel zu der Achse, so gehen die gebrochenen und rückwärts verlängerten Lichtstrahlen ih und km, durch einen Punkt p, welcher der *Brennpunkt* heisst. Da keine wirkliche Vereinigung der Lichtstrahlen darin stattfindet, so entsteht auch in ihm keine erhöhte Intensität des Lichts. Convergirende Licht-

Fig. 319.



ι, wie ih und km, welche vor der Brechung nach dem Brenn-
p gerichtet sind, gehen nach derselben parallel mit der Achse fort.

ei den Gläsern 2* und 3* (Fig. 313, Seite 265) finden dieselben nungen, wie bei den convex-convexen, und bei 5* und 6*, wie bei ıcav-concaven Gläsern statt.

ie Lichtstrahlen, welche bei convexen Gläsern nicht durch den unkt gehen, weil sie zu weit von der Mitte auffallen, bilden eine *inie* oder *Diakaustik*, indem sich je zwei auf einander folgende ·ahlen um so näher am Glase durchschneiden, je weiter sie von ;te auffallen. Diese Linie kann man in einem mit Rauch erfüll- .skasten oder durch Staub sichtbar machen, in welchen man das urch ein convexes Glas fallen lässt, so wie auch alle über die ıg angegebenen Erscheinungen sich dadurch versinnlichen lassen.

n die Vereinigungsweite für Lichtstrahlen zu finden, welche von a, Fig. 320, convexes Glas fo fallen, dessen Mittelpunkt o ist und dessen beide Oberflächen mit den Radien cf und fd beschrieben sind, nehme man an, die Dicke des Glases sei verschwindend gegen die übrigen Entfernungen, af sei der einfallende Lichtstrahl, fg seine Richtung nach der ersten Brechung aus Luft in Glas und fb seine Richtung nach der zweiten Brechung

Fig. 320.



in Luft; also ob die Vereinigungsweite. Ferner nehme man an, es sei ı, welches wohl angeht wegen der Bedingung, dass die Lichtstrahlen nahe Aitte einfallen sollten, ebenso $fg = og$ und $fb = ob$, und setze $ao = a$, $cf = r$, $df = R$, $ob = x$, und das Brechungsverhältniss aus Luft in Glas

$= n$. Ferner sei fe die Verlängerung von df. Nun ist $\frac{af}{ad} = \frac{\sin adf}{\sin afd}$, $\frac{dg}{fg} = \frac{\sin dfg}{\sin fdg}$ und $n = \frac{\sin afe}{\sin dfg} = \frac{\sin afd}{\sin dfg}$; folglich $\frac{af}{ad} \cdot \frac{dg}{fg} \cdot n = 1$, oder wenn man die obige Bezeichnung einführt, so ist $\frac{a}{a+R} \cdot \frac{v-R}{v} \cdot n = 1$. Daraus findet man $v = \frac{aRn}{(n-1)\,a - R}$. Wenn nun ein Lichtstrahl fg aus Glas in Luft gehen soll, und ef das Neigungsloth ist, so wird er nach einer Richtung fh gebrochen, vermöge deren er, rückwärts verlängert, die Achse in b durchschneidet. Wendet man aber die vorige Formel auf die Vereinigungsweite $ob = x$ an, so muss in jener $-x$ statt v, $\frac{1}{n}$ statt n, r statt R und v statt a gesetzt werden. Dadurch wird

$$-x = \frac{v \cdot r \cdot \frac{1}{n}}{\left(\frac{1}{n} - 1\right) v - r};\ \text{oder}\ \frac{1}{x} = \frac{n}{v} + \frac{n-1}{r}.$$

Führt man den obigen Werth für v in diese Gleichung ein, so wird nach geschehener Reduction,

$$\frac{1}{x} = \frac{(n-1)}{R} - \frac{1}{a} + \frac{(n-1)}{r}\ \text{oder}$$

$$\frac{1}{x} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right) - \frac{1}{a}.$$

Wenn in dieser Formel $a = \infty$ gesetzt wird, so erhält man statt der Vereinigungsweite x die *Brennweite* f, und es wird

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right).$$

Führt man diesen Werth in die allgemeine Formel ein, so wird

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a}.$$

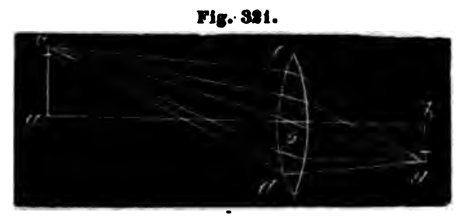
Diese Gleichung zeigt, wie man aus der Brennweite eines Glases, welche sich leicht durch einen Versuch bestimmen lässt, indem man das Bild eines entfernten Gegenstandes durch die Linse auf einem weissen Papier auffängt, die Vereinigungsweite x für jede Entfernung a des leuchtenden Objectes findet. Um die Brennweite einer concaven Linse zu finden, hält man sie zwischen ein weisses Blatt und die Sonne, so dass das Bild, welches auf dem weissen Blatt von der Gestalt der Linse entsteht, den doppelten Durchmesser der Linse hat. Die Entfernung der Linse vom Blatt ist dann der Brennweite gleich. Eine andere Methode ist folgende: Man verbindet die concave Linse mit einer stärker convexen von bekannter Brennweite und berechnet aus der beobachteten Brennweite beider die Brennweite der erstern.

Alle oben angegebenen Eigenschaften der convexen Linse ergeben sich aus dieser Formel, wenn man für a den gehörigen Werth einführt. Will man sie auf concave Linsen anwenden, so muss man $-r$ statt r, $-R$ statt R; also auch $-f$ statt f, setzen. Bei Linsen, an denen eine Seite plan ist, wird einer der beiden Radien gleich unendlich angenommen.

Für zwei Linsen von der Brennweite f und $f_{,}$ und dem gegenseitigen Abstand d findet man die gemeinsame Brennweite x auf folgende Art: Die parallelen Strahlen, welche auf die erste Linse fallen, würden, ohne Wirkung der zweiten, in der Entfernung $f - d$ von der zweiten an vereinigt, kommen also gleichsam von einem Punkte, welcher den Abstand $f - d$ von ihr hat, aber auf *der* Seite liegt, wo die Vereinigung stattfindet; es ist daher für a zu setzen $-(f - d)$, und daher ist $\frac{1}{x} = \frac{1}{f_{,}} + \frac{1}{f - d}$. Ist der Zwischenraum $d = o$ und $f = f_{,}$, so wird $x = \frac{f}{2}$.

§. 240.

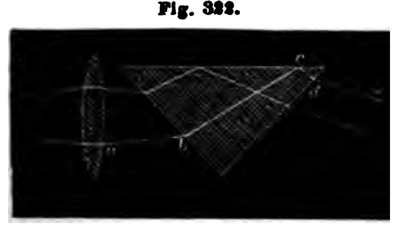
Wenn sich ein Object ac, Fig. 321, ausserhalb der Brennweite eines convexen Glases befindet, so werden nach dem vorigen §. die von a auf


Fig. 321.

dasselbe fallenden Strahlen in b wieder vereinigt, wodurch dort ein Bild des Punktes a entsteht. Liegt der Punkt c sehr nahe bei a, und denkt man sich einen Lichtstrahl von c nach dem optischen Mittelpunkte o, so geht dieser nach der Brechung in derselben Richtung fort, weil die Stellen, an denen er in das Glas eintritt und es wieder verlässt, zu einander parallel sind. Man kann daher cg als einen geradlinigten Strahl betrachten. Die übrigen von c kommenden Lichtstrahlen, wie z. B. ce und cd, werden nach der Brechung ebenfalls in einem Punkte der Linie cg wieder vereinigt. Dieser Punkt ist ohngefähr eben so weit von dem Glase entfernt als der Punkt b. Dadurch entsteht in g ein Bild des Punktes c. Die Bilder der zwischen a und c liegenden Punkte entstehen auf dieselbe Art zwischen b und g, und aus allen diesen zusammengenommen entsteht ein deutliches, aber verkehrtes Bild von ac. Dieses kann selbst als ein Object betrachtet werden, wie man sieht, wenn man es entweder auf einem weissen Papiere oder auf einer matt geschliffenen Glastafel auffängt. Die Entfernung desselben kann nach den in der Anmerkung des vorigen §. angegebenen Formeln gefunden werden. Seine Grösse hängt von dem Verhältnisse der Linien ao und ob ab. Jede Linie wie cg heisst der *Hauptstrahl* der von c kommenden Lichtstrahlen.

Ist $ao = bo$, so ist auch $ac = bg$. Die Formel in §. 239 gibt dann, für $x = a$, die Brennweite: $f = \frac{a}{2}$. Die Brennweite kann also leicht gefunden werden, wenn man das Linsenglas zwischen einer Scala ac und einem Schirm bg so lange verschiebt und dabei auch den Schirm hin und her bewegt, bis das Bild bg der Scala, gerade so gross wird, als diese.

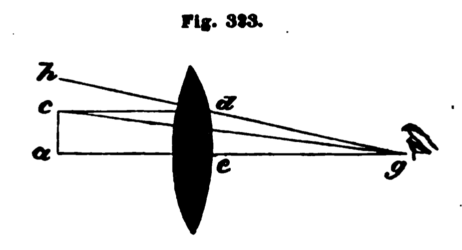
Um das verkehrte Bild aufrecht zu machen, wendet man ein rechtwinklicht gleichseitiges Prisma wie in Fig. 322 an. Durch die Brechung des untern Strahls ab nach bc und durch seine innere Reflexion nach cd und Brechung nach e wird er ein oberer und ebenso der obere ein unterer. Was aber rechts liegt, erscheint nun links; diess kann durch ein zweites Prisma, das Reversionsprisma, senkrecht zum ersten gestellt, aufgehoben werden.


Fig. 322.

Befindet sich ac, Fig. 321, in der Brennweite des Glases, so gehen die von a kommenden Lichtstrahlen nach der Brechung parallel mit ab, und die von c kommenden parallel mit dem Hauptstrahle cg fort. Es entsteht also kein Bild von ab hinter dem Glase; dass aber die so gebrochenen Lichtstrahlen gerade am häufigsten benutzt werden, wird die Folge lehren.

Rückt ac näher als der Brennpunkt, wie in Fig. 323, so wird ein in der Achse ag z. B. bei g befindliches Auge den Punkt a durch den

Fig. 323.



direkten Lichtstrahl ag wahrnehmen, den Punkt c aber durch den gebrochenen Lichtstrahl cdg. Da wir nun die Gegenstände in der Richtung annehmen, in welcher das Licht von ihnen unser Auge trifft, so glauben wir auch, der Punkt c befinde sich in der Richtung gh, und sehen also ac unter einem grössern Sehwinkel, als wenn das Glas nicht da wäre. Dass aber der Winkel dga grösser sein muss, als cga, folgt aus dem Frühern. Hierauf gründet sich die Vergrösserung der convexen Gläser, wenn man die Gegenstände hinter ihnen in aufrechter Stellung erblickt. Dieselbe Erscheinung findet auch statt, wenn sich das Auge innerhalb der Brennweite befindet und die Gegenstände in grösserer Entfernung sind.

Concave Gläser vereinigen, aus den im vorigen §. angegebenen Ursachen, nach der Brechung die Lichtstrahlen niemals wieder, aber die dahinter befindlichen Gegenstände erscheinen uns immer aufrecht und verkleinert. Ist z. B. ac, Fig. 324, ein Object, ag die Achse des Glases und g das Auge, so kann ein von c ausgehender Lichtstrahl nur dann in das Auge gelangen, wenn er den gebrochenen Weg cdg nimmt. Wir versetzen also den Punkt c in die Richtung gh und sehen darum das Object unter einem kleineren Sehwinkel hga. Die Vergrösserung wie die Verkleinerung verschwindet dagegen, wenn sich das Auge dicht hinter einer Linse von einer nicht zu kleinen Brennweite befindet.

Fig. 324.

Alle Bilder, welche durch Lichtstrahlen entstehen, die weiter von der Mitte des Glases gebrochen worden sind, erscheinen undeutlich, weil die Vereinigungsweite der Lichtstrahlen verschieden ist. Diese *Undeutlichkeit rührt von der Kugelgestalt der Gläser her.* Um sie aufzuheben, hat *Fresnel* Linsengläser aus Zonen von verschiedenen Radien zusammensetzen lassen, bei welchen aber auch die innere Reflexion des Strahls vom Glase benutzt wird, und davon bei Leuchtthürmen vortheilhaften Gebrauch gemacht. *Herschel* hat gefunden, dass man zwei neben einander stehende Linsen so schleifen kann, dass die Wirkung ihrer vier Flächen die obige Undeutlichkeit ganz aufhebt.

F. Von dem farbigen Lichte.

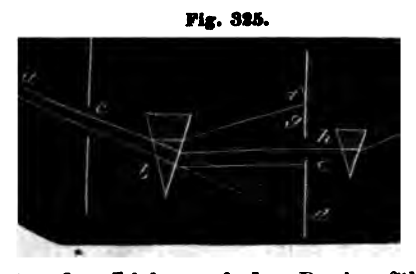
§. 241.

Es ist schon im Anfange des vorigen Abschnittes darauf aufmerksam gemacht worden, dass nicht alles Licht gleichstark gebrochen werde. Die nähere Untersuchung zeigt, dass die Fortpflanzung der kleinern und schnellern Lichtwellen in einem lichtbrechenden Mittel langsamer geschieht, als die der längern und langsamern Wellen, oder dass das violette Licht, dessen Wellen am kleinsten und schnellsten sind, stärker

gebrochen wird als das rothe. Betrachtet man z. B. zwei gleichgrosse Rechtecke von violettem und rothem Papiere, welche neben einander auf einem schwarzen Grunde liegen, durch ein Prisma, so scheint das rothe höher zu liegen, als das violette, wenn der brechende Winkel des Prisma's abwärts gekehrt ist; ebenso wird ein durch den Heliostat in ein dunkles Zimmer geleiteter Sonnenstrahl, welcher durch ein blaues Glas gehen muss, ehe er auf das Prisma gelangt, stärker gebrochen, als wenn er durch ein rothes Glas gegangen ist. Die Ursache dieser Verzögerung kleinerer Wellen war lange unbekannt. Es gereichte daher der Undulationstheorie zum Vorwurfe, dass sie dieselbe nicht anzugeben vermochte. Inzwischen hat *Cauchy* auch hierin dieser Theorie neue Stützpunkte gegeben, indem er bewies, dass eine Relation der Geschwindigkeit und der Länge einer Welle besteht, sobald die Massentheilchen so gelagert sind, dass ihre gegenseitigen Abstände ein merkliches Verhältniss zur Wellenlänge haben. Folgender Versuch zeigt die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes, welche unter dem Namen *Farbenzerstreuung, Dispersion,* bekannt ist.

Wenn man einen Sonnenstrahl ab, Fig. 325, durch eine runde Oeffnung c von 1 Centim. Durchmesser in ein dunkles Zimmer leitet, so entsteht auf einem weissen Papiere in d ein weisses Bild dieser Oeffnung. Stellt man aber nun in b ein Prisma so auf, dass eine Kante desselben abwärts gerichtet ist, so wird der Lichtstrahl nach ef hin gebrochen, und man sieht daselbst kein einfaches weisses Bild der Oeffnung mehr, sondern einen um so längern, farbigen Streifen, je schiefer das Licht auf das Papier fällt. Dieser Streifen, welchen man das *Farbenspectrum* nennt, ist von unten zuerst roth, dann orangegelb, gelb, grün, blau, dunkelblau und zuletzt schwach violett. Doch ist in keinem Theile desselben das Licht von gleich intensiver Farbe, und die Verschiedenheit, also auch die Zahl der Farben ist unendlich gross. Hat das Papier bei g eine kleine Oeffnung, durch welche z. B. nur einfach-gelbes Licht geht, und fängt man dieses in h durch ein zweites Prisma auf, so wird es zwar abermals nach i gebrochen, aber weder weiter zerstreut, noch seiner Farbe und Gestalt nach verändert, und ein in h oder i befindliches Auge sieht das Licht glänzend gelb, aber nicht weiss. Bringt man ein zweites Prisma in eine zu der Richtung des vorigen senkrechte Stellung zwischen b und fe, so wird die senkrechte Lage des Spectrums nach der Seite verändert und zwar so, dass das violette Licht wieder am stärksten, das rothe am schwächsten gebrochen wird; aber es findet ebenfalls keine neue Farbenzerstreuung statt. Die Farben des Spectrums lassen sich also nicht zerlegen, das heisst: *Grün* ist hier nicht aus Blau und Gelb zusammengesetzt. Dadurch erhält die im §. 204 gegebene Erklärung vom Tageslichte, wonach es aus Licht von unzählbaren Farben besteht, ihre Bestätigung. Die Zerstreuung erfolgt nur in der Ebene, in welcher das Licht gebrochen wird, und nicht in einer andern Richtung, indem das Spectrum nirgends breiter ist, als das in gleicher

Fig. 325.



Entfernung von der Oeffnung befindliche Bild *d* vor erfolgter Brechung war.

Wenn man das Farbenspectrum näher untersucht, so findet man, dass seine verschiedenen Theile nicht nur an Lichtstärke verschieden sind, sondern dass sie auch in Hinsicht auf Wärme und chemische Wirkungen sich von einander unterscheiden. Die Wärme nimmt vom Violett gegen Roth zu, und ist in dem dunkeln Raum, zunächst dem Roth, am intensivsten. Die chemische Wirkung beginnt nach *Draper* im Grün, nimmt gegen Violett zu, und ist in dem dunkeln Raume, jenseits des Violetts, wie *Ritter* gefunden hat, noch merklich. Dieser nannte darum die dorthin fallenden Lichtstrahlen *dunkle* oder *unsichtbare Strahlen*. Dass wir aber gerade die Gattungen von Licht, welche die kürzesten und längsten Wellen haben, gewöhnlich nicht sehen, rührt offenbar daher, dass sie die verschiedenen Flüssigkeiten unseres Auges weniger leicht durchdringen, wie auch sehr hohe Töne von unserem Ohr nicht mehr als solche empfunden werden. *Helmholtz* hat inzwischen nachgewiesen, dass in einem vollkommen dunkeln Raum und nach Entfernung aller sichtbaren Strahlen auch diese unsichtbaren oder *brechbarsten* Strahlen noch sichtbar sind. Alle diese Lichtgattungen bringen auf der jodirten Silberplatte dieselbe Schwärzung hervor, und es scheinen die schnelleren Oscillationen des Aethers dabei am wirksamsten zu sein. Es findet aber ausserdem noch ein merkwürdiger Unterschied statt, wie folgender Versuch zeigt: *Moser* setzte eine jodirte Silberplatte zwei Minuten lang auf die in §. 139 beschriebene Art der Einwirkung einer gravirten Platte aus, so dass die Wirkung derselben gerade angefangen hatte, und legte diese Platte nachher unter ein violettes oder blaues Glas in's Sonnen- oder Tageslicht. Schon nach wenigen Minuten erschien nun das Bild der Platte mit aller Deutlichkeit; während es unter rothem oder gelbem Glas nur sehr undeutlich und langsam erschien. War dagegen die jodirte Silberplatte in einer Camera obscura, wie bei der *Daguerre*'schen Photographie, dem blauen Lichte zwei Minuten lang ausgesetzt, und brachte man sie nachher unter ein rothes oder gelbes Glas, so entstand ebenfalls sehr rasch ein Bild; nicht aber unter einem grünen Glas. Es können also Strahlen von irgend einer Oscillations-Geschwindigkeit eine Wirkung anfangen, und die von einer um ein Gewisses langsamern Oscillation können sie vollenden. *Becquerel*, welcher diese Eigenschaft bei den rothen und gelben Strahlen entdeckt hat, nannte sie darum die *rayons continuateurs*, und die anfangenden blauen *rayons excitateurs*. Die wahre Ursache ist aber offenbar die im §. 206 erwähnte photochemische Induction. Da im Tageslicht alle Arten von Strahlen vorkommen, so fehlen darin auch die chemischen nicht, ausser wenn dieses, wie schon im §. 206 erwähnt wurde, bereits durch Körper gegangen ist, in denen es eine chemische Veränderung bewirkt hat, und in welchen also die chemischen Strahlen ausgelöscht worden sind, oder mit andern Worten die lebendige Kraft ihrer Oscillationen auf chemische Arbeit verwendet worden ist.

Die Versuche, welche *Draper* in Virginien anstellte, ergaben in chemischer Beziehung andere Resultate, als die oben beschriebenen, die sich selbst wieder in den verschiedenen Jahreszeiten anders herausstellten, was durch *Bunsen's* und *Roscoes* Untersuchungen, vgl. §. 206, bestätigt ist. *E. Becquerel* hat das Farbenspectrum

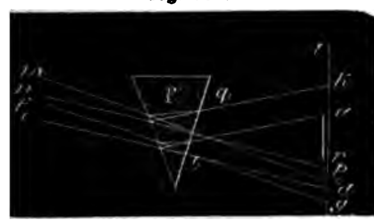
cirt, indem er ein Silberplättchen zuerst in Chlorwasser tauchte, bis es eine weisse, in's Rothe übergehende Färbung zeigte, und dann ein Sonnenspectrum darauf llen liess, welches durch ein convexes Glas auf den Raum von einem Zoll concenirt war.

§. 242.

So wie sich das weisse Licht durch die Verschiedenheit der Breaung des farbigen zerlegen lässt, so kann man auch aus dem farbigen ichte weisses zusammensetzen, wenn man das durch ein Prisma zerreute Licht auf ein zweites paralleles Prisma leitet, dessen Brechungsinkel aber die entgegengesetzte Lage hat. Dadurch, dass man einen heil des Farbenspectrums auffängt, ehe es auf die Glaslinse gelangt t, lässt sich zeigen, dass gerade die Vereinigung *aller* farbigen Strahn nothwendig ist, um weisses Licht hervorzubringen; denn es entsteht ı diesem Falle durch die Vereinigung der Lichtstrahlen niemals ganz eisses Licht.

Die farbigen Ränder, welche man an den Gränzen heller und dunker Körper wahrnimmt, wenn man sie durch ein Prisma betrachtet, lassen sich nun leicht erklären. Wenn ak, Fig. 326, ein heller Gegenstand, z. B. eine von der Sonne beleuchtete weisse Fläche ist, und ab der tiefste Lichtstrahl, welcher in das hinter dem Prisma P befindliche Auge nach der Brechung gelangen kann, so wird dieser zerstreut, bf der violette, be der rothe Strahl sein. Der violette Strahl bf scheint von g herzukommen, und der rothe von d. Ebenso wird der vom höchsten Punkt k kommende Lichtstrahl kq einen violetten qm und einen rothen qn veranlassen; der othe scheint von p, der violette von o zu kommen. Die zwischen p nd g liegenden violetten, rothen und andern Strahlen mischen sich zu Veiss; der oberste p aber und der unterste g bleiben unvermischt; daer scheint jene Fläche oben roth, unten violett und in der Mitte weiss. st al eine bei a durch einen dunkeln Körper ar begränzte weisse Vand, so ist also im Prisma die Gränze bei a violett; ist aber kl eine unkle Wand und ak hell, so ist die Gränze bei k roth. Daraus kann nan sich nun ebenfalls erklären, warum ein weisses Papier auf schwarem Grunde einen andern Rand hat als schwarzes Papier auf weissem Grunde u. s. w. Da das violette und blaue Licht an einander gränzen, nd das erstere sehr schwach ist, so sagt man gewöhnlich blau statt iolett. Viele ähnliche, in *Göthe's* Farbenlehre aus der Verschiebung les Bildes über den Rand, und des Randes über das Bild, erklärte 'arbenerscheinungen beruhen ebenfalls hierauf.

Fig. 326.



Durch die Brechung und innere Reflexion des Lichtes in Wassertropfen enteht, wie *Descartes* zeigte, der *Regenbogen*. Er erscheint bald einfach, bald doppelt. Der Hauptregenbogen zeigt die prismatischen Farben in *der* Ordnung, dass Violett ach Innen, Roth nach Aussen vorkommt; der zweite Regenbogen zeigt diese Faren schwächer und in umgekehrter Ordnung. Zur Erklärung des Hauptregenbogens telle man sich vor, ab, Fig. 327, sei ein Lichtstrahl, welcher auf einen kugelförmien Wassertropfen fällt. bd sei das Neigungsloth, x der Einfallswinkel, y der Brechungswinkel und z der Winkel, welchen der Strahl ab mit der Linie ec bildet.

Fig. 327.

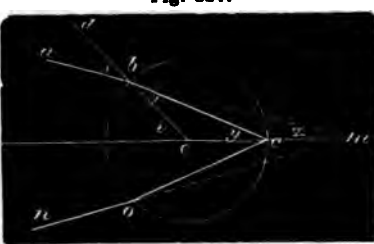
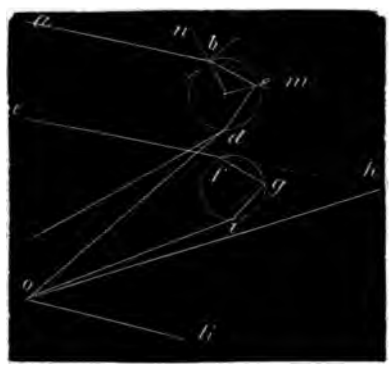
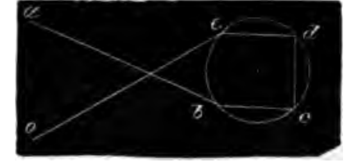


Fig. 328.



Nun ist $ebm = x$, folglich $v = x + z$, da aber auch $v = 2y$, so ist $x + z = 2y$ oder $z = 2y - x$, ferner ist $\sin x = n \sin y$, wenn n das Brechungsverhältniss aus Luft in Wasser. Legt man nun diese Gleichungen dem Zusammenhang zwischen den Winkeln x, y und z zu Grunde, so findet man beim rothen Licht, dass, wenn x alle möglichen Werthe von 0 bis 90° annimmt, der Werth von z sich durch eine kleine Aenderung von x am wenigsten ändert, wenn $x = 54° 15'$ ist. Berechnet man darnach den Werth von z, so erhält man 21° 1'. Bei jedem andern Winkel wird, wenn x z. B. um eine Minute zu- oder abnimmt, die Zu- oder Abnahme von z viel grösser, als bei diesem Winkel. Bedeutet also in Fig. 328 ab einen Büschel rother Strahlen, welcher mit dem Neigungsloth bn einen Winkel von 54° 15' bildet, so wird derselbe nach bc gebrochen, dort zum Theil durchgelassen, zum Theil nach cd reflectirt und von da nach do gebrochen. Der Winkel, welchen alsdann der zweimal gebrochene und einmal reflectirte Strahl do mit dem Strahl ab bildet, oder der Winkel m ist dann das Doppelte von z oder 42° 2'. Unter jedem andern Winkel würden nach dem Obigen die einzelnen Strahlen jenes Büschels, welche nur in der Nähe von b einfallen, nach dem Austritt bei d mit ab Winkel bilden, welche von $2z$ weit mehr differirten und daher weit mehr zerstreut würden. Oder es besteht nur unter dieser Bedingung der Strahl do aus mehreren nahezu parallelen Strahlen rothen Lichtes. Für die violetten Strahlen, welche stärker gebrochen werden, ist jener Winkel $2z = 40° 16'$. Da nun bei jeder Brechung eine Farbenzerstreuung stattfindet, so wird der Lichtbüschel do im Sonnenlichte unten roth und oben violett sein, und wenn ein in o befindliches Auge den rothen Antheil desselben empfängt, so werden Violett und die zwischen Roth und Violett liegenden Farben darüber weggehen. In diesem Falle wird ein niedriger stehender Wassertropfen fg das brechbare Violett in's Auge o senden und das weniger gebrochene Roth unter dem Auge weggehen. Die zwischen b und f liegenden Wassertropfen senden die übrigen Farben in's Auge. Wenn also die Sonne ein leuchtender Punkt wäre, so betrüge der Winkel doi 42° 2' — 40° 16' oder 1° 46'; indem sie aber selbst eine Breite von 30' hat, so beträgt dieser Winkel 2° 16'. Diess ist die scheinbare Breite des Regenbogens. Macht man nun ok parallel mit ab und denkt man sich, die ganze Figur werde um die Linie ok gedreht, so erhält man eine Kegelfläche, in welcher alle die Wassertropfen liegen, welche auf gleiche Art die prismatischen Farben in's Auge senden. Das Auge befindet sich in der Spitze dieses Kegels und sieht daher nur einen Kreis, welcher aber durch den Horizont oh unterbrochen wird. Daraus folgt, dass das Auge immer zwischen der Sonne und dem Mittelpunkte des Regenbogens sich befindet; ferner dass, wenn der Strahl ab, folglich auch ok parallel mit dem Horizonte ist, der Regenbogen als Halbkreis erscheint, und dass er um so niedriger ist, je grösser der Winkel $eho = hok$ ist, also je höher die Sonne steht, und dass er endlich ganz verschwinden muss, wenn dieser Winkel hok oder $eho = 42°$, also die Höhe der Sonne über dem Horizonte gleich 42° ist.

Fig. 329.



Der zweite Regenbogen entsteht auf ähnliche Art, indem die Lichtstrahlen, wie ab, Fig. 329, durch zweimalige Reflexion in c und d in das Auge bei o gelangen. Der Lichtbüschel, welcher bei e austritt, muss wegen der stärkern Brechung des violetten Lichtes unten violett und oben roth sein; die Ordnung der Farben ist daher umgekehrt. Für

das rothe Licht beträgt der Theorie und Erfahrung gemäss der Winkel, welchen *ab* mit *oe* macht, 50° 59′ und für die violetten Strahlen 54° 9′.

Die Richtigkeit dieser Theorie kann man mittelst einer Glaskugel und noch bequemer durch ein mit Wasser gefülltes cylindrisches Glas prüfen, indem man durch den Heliostat in der in den Figuren 328 und 329 angegebenen Richtung einen Sonnenstrahl darauf leitet und im dunkeln Zimmer die innerhalb reflectirten Strahlen *do* und *eo* auf einem weissen Papier auffängt. Aendert man die Einfallswinkel, so werden die Spectra immer breiter und verlieren ihre Deutlichkeit. Bei Wasserfällen, Springbrunnen u. dgl. ist die Erscheinung dieselbe, nur ist der Abstand der Wassertropfen kleiner. Zuweilen sieht man auch umgekehrte Regenbogen, welche dann entstehen, wenn sich die Sonne in einem ruhigen Wasser spiegelt.

An der innern Hauptseite jedes Regenbogens beobachtet man ausserdem dicht unter dem Roth eine Reihe grüner und purpurrother Farben, die schmale, an einander stossende, scharf begränzte und mit dem Hauptbogen vollkommen concentrische Zonen bilden. Diese überzähligen Bogen rühren nach der von *Airy* angestellten und auf die Wellentheorie gestützten Rechnung von den Interferenzen der Elementarwellen her, welche in der Nähe der obigen wirksamen Wellen entstehen und sich an mehreren Stellen verstärken und schwächen. Die berechnete Lage derselben stimmt mit den genauen Beobachtungen von *Miller* vollkommen überein. Zuweilen sieht man auch einen weissen, verwaschenen Regenbogen, welcher sich nach *Bravais* durch die Annahme erklären lässt, dass die Tröpfchen der Wolken, auf denen er sich bildet, kleine Bläschen oder Hohlkugeln sind. Dieser weisse Regenbogen kann seinen Anfang nehmen, wenn das Verhältniss zwischen dem äussern und innern Durchmesser der Hohlkugel das Brechungsverhältniss 1,336 überschreitet. Beträgt es z. B. 1,38 bis 1,40, so kann sich dieser Regenbogen in Gestalt eines kreisrunden weissen Scheins von 66 bis 70 Gr. Durchmesser zeigen. Dieser Durchmesser vergrössert sich, wenn das obige Verhältniss wächst. Nähert es sich dem Verhältnisse 1,555, so convergirt der weisse Regenbogen gegen die festern mittlern Gränzen des gewöhnlichen von 41° 38′ Halbmesser und dann hört der weisse Regenbogen auf.

Die Erscheinungen von Nebensonnen, Ringen und Bogen (nicht Höfen), welche man zuweilen um die Sonne wahrnimmt, hat man seit *Mariotte* aus der Reflexion und Brechung des Lichts an in der Luft schwebenden Eistheilchen erklärt. Die von *Bravais* in der neuern Zeit angestellten Untersuchungen weisen nach, dass sie alle eine Folge von einfacher äusserer und vielfacher innerer Reflexion und Brechung in Eisprismen mit senkrechten Achsen sind. Durch ein aus drei Glasplatten zusammengesetztes dreiseitiges Prisma, welches mit Wasser gefüllt ist und sich schnell um seine Achse dreht, kann man mehrere dieser Erscheinungen nachahmen, indem man im dunkeln Zimmer einen Lichtbüschel darauf fallen lässt.

§. 243.

Da die Lichtstrahlen, welche auf ein Prisma fallen, nicht vollkommen parallel sein können, indem sie von höher und tiefer liegenden Punkten des leuchtenden Körpers kommen, so kann auch das Spectrum nicht vollkommen rein sein, oder es werden die Farben desselben immer vermischt erscheinen. Um ein reines Spectrum zu erhalten, leitet man Sonnenlicht durch einen Heliostat in's dunkle Zimmer, so dass es durch zwei hinter einander befindliche enge Spalten gehen muss, und fängt diesen Lichtstrahl entweder mit einem sehr reinen Flintglas-Prisma, oder mit einem hohlen Glasprisma auf, das mit einem das Licht stark zerstreuenden Oele angefüllt ist. Wird nun in der Richtung des gebrochenen Lichtes, dicht hinter dem Prisma, ein Fernrohr so gestellt, dass man durch dasselbe ein deutliches Bild des Farben-Spectrums erhält, so erblickt man die von *Fraunhofer entdeckten dunkeln Linien*, welche senkrecht zur Länge des Spectrums in demselben vertheilt sind. Das Fernrohr muss in einer solchen Entfernung von dem nächsten Spalt aufgestellt sein, dass man durch dasselbe, ehe das Prisma davorsteht,



Fig. 330.

den Spalt deutlich sieht. Je stärker die Vergrösserung ist, um so grösser ist die Zahl derselben; daher kommt es, dass *Fraunhofer* mehrere hundert, *Wollaston* mehrere tausend beobachtete. Eine genaue Darstellung hat inzwischen erst *Kirchhoff* geliefert. In dem farbigen Theil hat er von *D* bis *F*, also dem vierten Theil des Spectrums, 550 Linien abgebildet, die zum Theil sehr schöne Gruppen bilden. Ihre Aufeinanderfolge ist unregelmässig, aber immer die nämliche, aus welcher Materie das Prisma auch besteht, und unter welchem Winkel es auch geschliffen sein mag; nur verschwinden die schwächeren, wenn die Grösse des Farbenbildes abnimmt. Man kann daher annehmen, dass sie dem Spectrum des ungetrübten Sonnenlichtes eigen seien. Bei anderem Lichte zeigen sich andere dunkle Streifen. In Fig. 330 stellt das längere Bild das *vollständigste* Sonnenspectrum mit einigen der wichtigsten dieser Linien dar, wie man es durch ein Bergkrystallprisma erhält, wenn die Strahlen auf eine zur Achse des Krystalls senkrechte Fläche fallen. *Stockes* hat nämlich gefunden, dass der Bergkrystall die einzige Substanz ist, welche alle Arten von Sonnenstrahlen durchlässt.

Die mit den Buchstaben *A* bis *H* bezeichneten Linien sind von den *Fraunhofer*'schen diejenigen, welche am leichtesten wieder erkannt werden können. Sie liegen in dem ohne künstliche Mittel allein sichtbaren Theil des Spectrums. Die Linien von *L* bis *R* sind mittelst der Fluorescenz später von *Stockes* entdeckt und benannt worden. Bei der Linie *R* scheint das Spectrum des Sonnenlichts scharf abzubrechen; doch hat *Esselbach* noch eine entferntere Linie *S* wahrgenommen. Von dem Licht zwischen *H* und *S* wird das Auge so wenig afficirt, dass man es vor *Stockes* gar nicht als solches kannte, obgleich sich das Dasein von dunkeln Sonnenstrahlen durch ihre chemische Wirkung verrieth. *Helmholtz* hat gezeigt, dass sie in einem vollkommen dunkeln Raum durch vollständige Trennung von den hellen Theilen alle sichtbar sind, wenn auch sehr schwach. Die grösste Empfindlichkeit zeigt das Auge für das Licht zwischen *D* und *E*, also im Gelb. Von da an nimmt sie nach beiden Seiten rasch ab und ist für das Roth jenseits *A* und die ultra-violetten Strahlen jenseits *H* sehr gering. Daraus folgt aber nicht, dass die Vibrations-Intensität dieser Strahlen

eine geringere ist; denn gegen das Roth nimmt eine andere Wirkung der Sonnenstrahlen, *die Wärme*, zu und setzt sich beträchtlich in dem dunkeln Raum daneben noch fort. In dem fast unsichtbaren Theil von *H* bis *R* tritt die *chemische Wirkung* der Strahlen auf. Diese beginnt für Bromsilber schon in *F* und für Jodsilber bei *G*. Im Allgemeinen ist sie am stärksten bei der Linie *H* und nimmt ebenso von hier aus auf beiden Seiten ab, wie die Wärmewirkung in dem Raum neben *A*, in welchem *Brewster* mit starken Vergrösserungen noch Linien entdeckt hat. Diess Alles gilt jedoch nur für das Sonnenspectrum, indem das jeder andern Lichtquelle davon verschieden ist, und z. B. das Spectrum des elektrischen Lichtes nach *Stockes* sich noch viel länger zeigt, als das des Sonnenlichtes.

Wären alle Lichtwellen von gleicher Länge, so würde man weder farbiges Licht, noch eine Zerstreuung desselben durch das Prisma wahrnehmen. Nähme aber die Länge der Wellen vom violetten Lichte bis zum rothen in so vielen und kleinen Abstufungen gleichförmig zu, dass die Unterbrechung unmerkbar würde, so müsste das Spectrum eine ununterbrochene Folge von Farben enthalten. Fehlt daher in der Reihenfolge eine Farbe, das heisst das an diese Stelle vermöge seiner Abstufung gehörige Wellensystem, so muss sich dieser Mangel durch einen dunkeln Zwischenraum zu erkennen geben. Jene dunkeln Striche sind daher Lücken im Sonnenspectrum, welche dadurch entstehen, dass die dorthin gehörenden Wellensysteme fehlen. Durch verschiedene, später zu beschreibende Methoden ist man in den Stand gesetzt, die Wellenlänge der einzelnen Lichtgattungen zu bestimmen. Diess ist durch *Fraunhofer* zuerst für die sichtbaren Strahlen geschehen und für die ultravioletten gleichzeitig durch *Esselbach* und mich. Hier folgen die genauern Resultate dieser Messungen, angegeben in Millimetern.

		Fraunhofer.	*Esselbach.*
bei	B	0,0006878	0,0006874
	C	0,0006564	
	D	0,0005888	0,0005886
	E	0,0005260	0,0005260
	F	0,0004843	0,0004845
	G	0,0004291	0,0004287
	H	0,0003929	
	L		0,0003791
	M		0,0003657
	N		0,0003498
	O		0,0003360
	P		0,0003290
	Q		0,0003232
	R		0,0003091

In der Fig. 330 stellt das kleinere Bild das Spectrum des Sonnenlichtes vor, wie ich es durch Beugung erhalten habe, und worin die Wellenlängen der verschiedenen Lichtarten dem Abstand von dem Bild eines Spaltes *Z* proportional sind, die Grössenverhältnisse sich also durch unmittelbare Messung mit dem Zirkel finden lassen. Man erhält dadurch eine deutlichere Vorstellung des Zusammenhangs zwischen der Wellenlänge und den verschiedenen Wirkungen der zugehörigen Lichtarten. Während z. B. in dem prismatischen Spectrum der chemisch wirkende Theil von *F* bis *R* mehr als dreimal so lang ist als der von *A* bis *F*, ist derselbe im Beugungs-Spectrum nicht ganz gleichlang. Dieser Unterschied rührt daher, dass die Farbenzerstreuung durch das Prisma mit der Abnahme der Wellenlänge sehr rasch wächst und daher für kleine Wellen sehr gross wird.

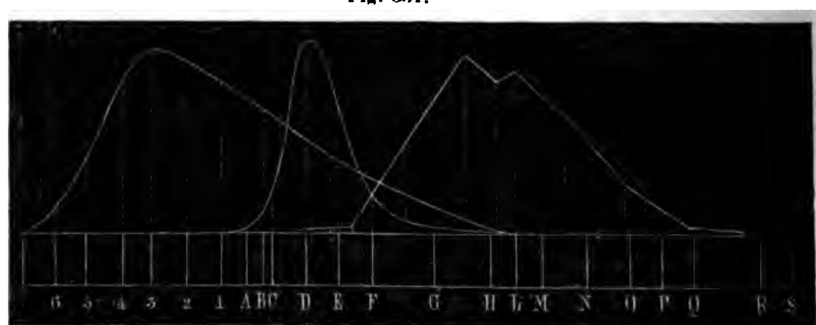
Zwischen dem Brechungsverhältniss n und der Wellenlänge λ eines homogenen Lichtstrahls findet nach *Cauchy* folgender Zusammenhang statt: Es ist $\frac{1}{n^2} = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4}$, worin a, b, c constante Grössen sind, die sich nach der Natur des brechenden Mittels richten.

Mit Hilfe eines achromatischen Linsenglases von grosser Brennweite, welches man hinter dem Prisma aufstellt, kann man die dunkeln Linien auch auf einem Schirm objectiv darstellen. Man leitet nämlich durch den Heliostat einen Lichtstrahl in's dunkle Zimmer durch einen engen Spalt, welcher hinter dem Heliostat befestigt ist. Das Objectivglas wird so aufgestellt, dass es von dem Spalt ein deutliches Bild auf dem Papierschirm gibt und darauf unmittelbar vor der Glaslinse das Prisma befestigt. Da jetzt das Spectrum in eine andere Richtung fällt, so muss man den Schirm in diese und einer dem vorigen Abstand gleiche Entfernung bringen, um darauf die dunkeln Linien zu sehen.

§. 244.

Die dunkeln Linien im Farbenspectrum setzen uns in den Stand, die verschiedene Brechbarkeit und Intensität des Lichtes an einzelnen Stellen des Spectrums zu bestimmen, und sind darum von unschätzbarem Werthe. Fraunhofer hat gefunden, dass z. B. das Brechungs-Verhältniss für die Stellen, die er im Spectrum mit B und H bezeichnet, beim Wasser durch die Zahlen 1,330935 und 1,344177 ausgedrückt wird; bei Flintglas von Nr. 13 durch 1,627749 und 1,671062, bei Crownglas von Nr. 9 durch 1,525832 und 1,546566. Die Intensität des Lichtes lässt sich nach ihm durch folgende Zahlen ausdrücken: Aeusserstes Roth 32, Mitte desselben 94, Orange 640, zwischen Gelb und Orange 1000, Grün 480, Lichtblau 170, zwischen Blau und Violett 31, Violett 5,6. Aus der verschiedenen Grösse der Dispersion des Lichts in Prismen von Crownglas, Flintglas oder mit Wasser gefüllt, ergibt sich, dass bei gleichem Brechungswinkel die Spectra verschiedene Länge haben müssen, und dass darum in dem einen z. B. das Roth zwischen den Linien A und C, und in dem andern das Orange zwischen C und D mehr zusammengedrängt ist. Dasselbe gilt auch für die chemisch wirkenden und die Wärmestrahlen. Wo aber die letztern mehr zusammengedrängt sind, entsteht mehr Wärme; desshalb sind auch die Intensitätscurven für diese Wirkungen bei Prismen aus verschiedenen Stoffen verschieden. In der Fig. 331 bezeichnen die Buchstaben A, B .... S dieselben Stellen des Spectrums wie in Fig. 330. Die erste Curve darüber gibt nach

Fig. 331.



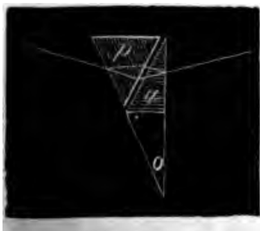
J. Müller die Intensität der Wärme für ein Steinsalzprisma, welches die meiste Wärme durchlässt, an und zeigt, dass bei 3 also weit über Roth hinaus die meiste Wärme ist. Die zweite Curve gibt nach *Fraunhofer* die relativen Lichtstärken an, und die dritte drückt die Stärke der chemisch wirkenden Strahlen, die *Bunsen* und *Roscoe* erhielten, aus.

Wenn das Brechungsverhältniss der äussersten Strahlen des Spectrums gegeben ist, so kann man für jeden Einfallswinkel ihre Zerstreuung oder den Unterschied ihrer Ablenkung berechnen. Ist z. B. der Einfallswinkel x, der Brechungswinkel für den rothen Strahl r, für den violetten v, und das Brechungsverhältniss von beiden n und m, so ist $\frac{\sin x}{\sin r} = n$, $\frac{\sin x}{\sin v} = m$, und der Unterschied ihrer Ablenkung oder ihre *Dispersion* $= v - r$. Nach obigen Zahlen hat Flintglas zwischen B und H die grösste Dispersion; man sieht auch daraus, dass dieser Unterschied sich vergrössert, wenn der Einfallswinkel grösser wird; aber es darf daraus nicht geschlossen werden, dass desshalb auch die Farbenzerstreuung eines Prisma's grösser werde, wenn sein Brechungsvermögen grösser ist. Eben so wenig kann man aus der Grösse der Brechung der beiden äussersten Strahlen die der andern bestimmen, sondern es muss diese bei jedem andern Mittel durch Versuche bestimmt werden. Bezeichnet man durch n', n, n'' die Brechungs-Exponenten für die rothen, mittleren und violetten Strahlen, so heisst $\frac{n'' - n'}{n - 1}$ das *Zerstreuungs-Vermögen* des Mediums, aus welchem das Prisma besteht.

§. 245.

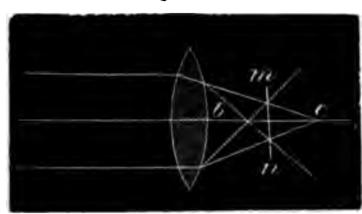
Aus dem Vorhergehenden folgt nun, dass wenn man ein Prisma aus Crownglas verfertigt, dieses in einem Abstand von 1 Meter ein Spectrum von der Länge a geben wird, während ein Flintglasprisma, dessen brechender Winkel eben so gross ist, in demselben Abstand ein Spectrum von grösserer Länge geben muss, weil sein Zerstreuungs-Vermögen grösser ist. Werden zwei solche Prismen zu einem sogenannten *Polyprisma* zusammengekittet, so erhält man darum für einen und denselben Lichtbüschel zwei Spectra, und bemerkt, dass das Spectrum des Flintglases nicht nur länger, sondern auch stärker gebrochen ist. Will man darum bewirken, dass das letztere eben so lang ist als a, so muss man den brechenden Winkel vom Flintglasprisma kleiner machen. Setzt man alsdann das Crownglasprisma p und das Flintglasprisma q so zusammen, wie in der Fig. 332, so kann, wenn die Brechung der übrigen farbigen Strahlen auf dieselbe, oder nahezu auf dieselbe Art erfolgt, ein Prisma entstehen, welches zwar das Licht noch bricht, aber keine Farben mehr erzeugt. Ein solches Prisma heisst *achromatisch*. Die Brechung des ungefärbten Lichtstrahls erfolgt nach dem Winkel o, welchen die äussern Seiten der Prismen mit einander bilden. Diese äusserst nützliche Entdeckung machte *Dollond* bei Gelegenheit eines Streites über *Eulers* Behauptung, dass die Krystalllinse im Auge wahrscheinlich so zusammengesetzt sei, dass sie das Licht ohne Farbenzerstreuung breche.

Fig. 332.



Da durch ein Linsenglas, Fig. 333, die violetten Lichtstrahlen ebenfalls stärker gebrochen werden als die rothen, so muss die Vereinigungsweite der ersten z. B. in b, und die der letztern in c sein.

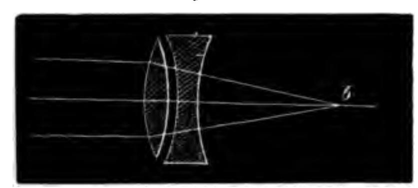
Fig. 333.



Zwischen beiden liegt die Vereinigungsweite der übrigen Lichtstrahlen. Bei Linsen von geringer Brennweite ist der Unterschied in der Vereinigungsweite unbedeutend; bei grösserer Brennweite aber ist er merklich, so dass, wenn man in der Mitte zwischen *b* und *c* ein weisses Papier *mn* aufstellt, ein farbiger Kreis entsteht, welcher der *Abweichungskreis* heisst. Stellt man in *mn* ein dünnes Blättchen mit einer kreisförmigen Oeffnung auf, und fängt man das durchgehende Licht in einem dunkeln Zimmer auf einem Schirm auf, so entsteht ein sehr schönes farbiges Lichtbild.

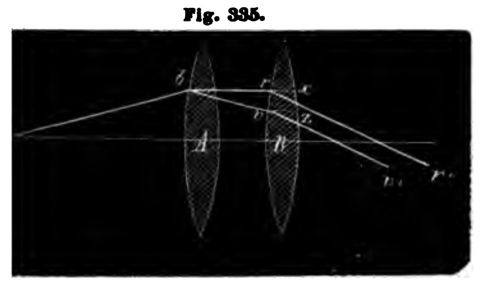
Obige Abweichung, welche man die *chromatische* nennt, wirkt viel nachtheiliger als die, welche aus der Kugelgestalt der Gläser entsteht, besonders wenn die Lichtstrahlen bedeutend abgelenkt werden. Diesem Nachtheile half *Dollond* dadurch ab, dass er, wie in Fig. 334, ein convexes Crownglas und ein concaves Flintglas so zusammensetzte, dass die Farbenzerstreuung des ersten durch die des zweiten, wie beim achromatischen Prisma, aufgehoben wurde. Die dadurch erhaltenen achromatischen Linsengläser können übrigens die Farbenzerstreuung nicht ganz aufheben, indem, wenn auch die äussersten Strahlen in ganz gleicher Weite vereinigt werden, daraus doch nicht folgt, dass das eine Prisma z. B. die grünen Strahlen nicht dennoch auf eine andere Stelle brechen könne als das andere. Desshalb ist oft noch ein drittes Linsenglas nöthig, um das Bild der zwei ersten zu achromatisiren. Da grosse Flintglas-Linsen schwer zu erhalten sind, so hat *Barlow* aus Hohlgläsern Linsen zusammengesetzt, die mit Schwefelkohlenstoff gefüllt waren, und durch eine Crownglas-Linse achromatisirt wurden. Die leichte Verdunstung des Schwefelkohlenstoffs erschwert jedoch sehr ihre Anwendung. Durch Verbindung zweier Linsen, deren vier Oberflächen eine solche Krümmung haben, dass nicht nur die Farbenzerstreuung, sondern auch die Abweichung wegen der Kugelgestalt aufgehoben wird, erhält man eine *aplanatische* Linse, deren Berechnung in grösserem Maassstabe mit vielen Schwierigkeiten verbunden ist. *Petzval* hat jedoch in neuerer Zeit für die Camera obscura und für Fernröhre eine solche Verbindung von zwei Linsen berechnet, und mit sehr günstigem Erfolg ausführen lassen.

Fig. 334.



Bei Convexgläsern, welche eine sehr kurze Brennweite haben sollen, wendet man das obige Verfahren, sie achromatisch zu machen, nicht gerne an, weil die Krümmungen der beiden Linsen sehr stark sein müssen, und folglich das Gesichtsfeld und die Helle sehr klein würden. Für diesen Fall kann man zwei Linsengläser *A* und *B* von derselben Glassorte so combiniren, dass sie ein achromatisches Bild geben, wie folgende Betrachtung zeigt. Auf die Linse *A* falle ein gewöhnlicher Lichtstrahl *ab*, Fig. 335, so wird der rothe Theil nach *r*, der violette nach *v* gebrochen. Denkt man sich nun bei *r* und *x* Tangenten an die Linse, so bilden diese einen grössern Winkel, als die Tangenten der Punkte *v* und *z*. Es fällt also der

Fig. 335.



rothe Strahl gleichsam auf ein Prisma mit stärkerem Brechungswinkel als der violette; er wird also durch *B* stärker gebrochen als dieser, und es kann darum bei dem Austritt aus *B* der rothe Strahl die Richtung *rr'*, und der violette die parallele Richtung *vv'* erhalten, wenn der Abstand und die Krümmung der beiden Linsen zweckmässig gewählt sind.

§. 246.

Die Erscheinungen der Farbenzerstreuung und der dunkeln Linien 1 beim Sonnenlichte anders als bei den andern Körpern, indem diese weder Licht verbreiten, welches aus weniger verschiedenen Wellen Aethers besteht, oder in welchem diese, der Anzahl nach, nicht das nliche Verhältniss haben. Das Licht, welches von andern Körpern geht, kann aber entweder eigenes, oder reflectirtes, oder durchgegannes Licht sein.

Wenn Licht von selbstleuchtenden Körpern herkommt, so ist es weder homogen oder zusammengesetzt. Homogenes gelbes Licht von sser Intensität erhält man z. B. nach *Talbot*, wenn man ein Stück chsalz auf den Docht einer Weingeistflamme legt und einen Strom ierstoffgas darauf leitet; aber auch ohne diesen Strom erhält man e fast ganz homogen gelbe Flamme. Für rothes Licht verschafft n sich rothe Gläser, und um blaues zu erhalten, leitet man einen htstrahl durch eine Flasche mit parallelen Wänden, die schwefelsau- Kupferoxyd-Ammoniak enthält. Letzteres stellt man dar, indem man er Kupfervitriollösung so lange Ammoniak zusetzt, bis der anfänglich ı zeigende Niederschlag sich wieder auflöst.

§. 247.

Die schon von *Fraunhofer*, *Brewster*, *Miller* und *Swan* in dem ctrum einiger Flammen entdeckten hellen Linien haben *Bunsen* und *rchhoff* durch einen von ihnen erfundenen *Spectral-Apparat* genauer ersucht. Um die Erscheinungen reiner zu erhalten, benutzten sie tt der Weingeist- oder Kerzenflamme, die Flamme der *Bunsen*'schen slampe, die an und für sich ein kaum sichtbares Licht verbreitet; ald man aber mittelst eines Platindrähtchens nur eine Spur von em Natronsalz oder von Strontian hineinbringt, sogleich hellgelb oder h wird. Bei der Zerlegung der Natronflamme mittelst des Prisma gen sich statt eines vollkommenen Spectrums nur zwei helle gelbe ien, welche genau auf *die* Stelle des Sonnenspectrums fallen, welche ch die Fraunhofer'sche Doppellinie *D* in §. 243 Fig. 330 bezeichnet Alle übrigen Stellen des vom Sonnenspectrum eingenommenen Raus bleiben dunkel. Die Strontianflamme zeigt ausser einer breiten ben Linie zwischen *D* und *B* noch sechs rothe Streifen in demselben ım, und eine schöne blaue Linie zwischen den Fraunhofer'schen Lin *G* und *F*. Lithiumsalze zeigen nur *eine* rothe Linie zwischen *C* l *B* und eine gelbe nahe bei *D*. Andere Elemente geben andere

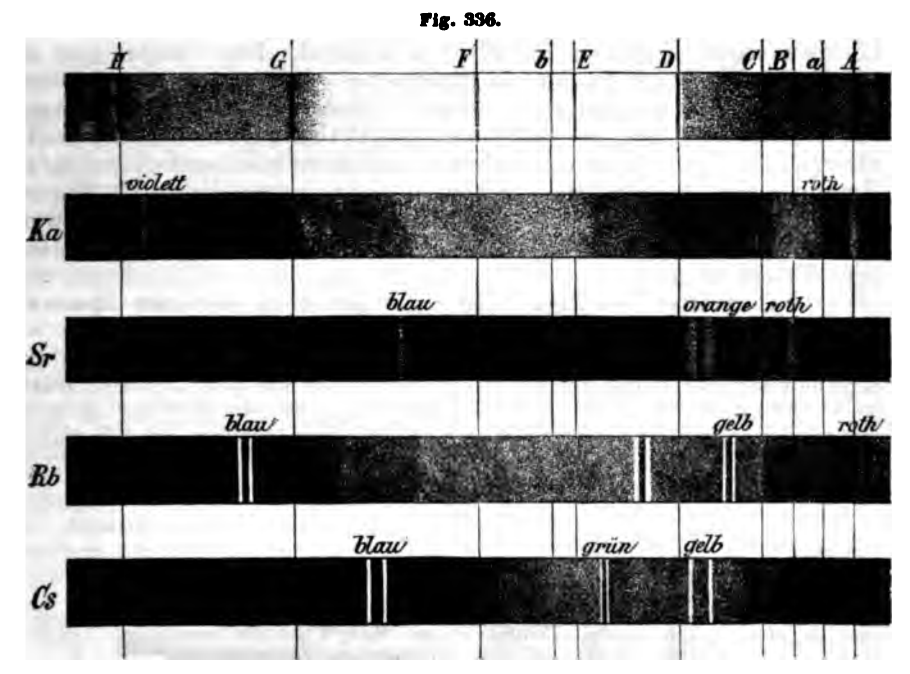
Linien. Am wichtigsten dabei ist aber die Entdeckung von *Bunsen* und *Kirchhoff*, *dass auch die verschiedensten Salze desselben Metalls, wenn sie flüchtig sind, dieselben Linien im Spectrum erzeugen.* Die Lage dieser Linien ist von der Temperatur und der Anwesenheit anderer Dämpfe unabhängig; nur hat die Zunahme der Masse des Dampfes und der Temperatur den Einfluss, dass einzelne Linien auffallender werden als vorher, und dadurch der Schein entsteht, als wäre das Spectrum ein anderes geworden. Ferner gibt ein Gemisch, von Salzen verschiedener Metalle, ein Spectrum, wie es durch die Uebereinanderlagerung der den einzelnen Metallen entsprechenden Spectra entstehen würde. *Kennt man also die Spectra der einzelnen Elemente, so kann man oft aus dem Spectrum eines zusammengesetzten, in der Flamme sich verflüchtigenden Körpers auf seine Bestandtheile schliessen.* Hierauf gründet sich ein neues wichtiges Hilfsmittel der Chemie, *die Spectralanalyse.* Diese qualitative Analyse übertrifft an Feinheit alle bisherigen Mittel der Chemie; indem z. B. das Spectrum die Anwesenheit von Natrium in der Luft verräth, wenn nur 3 Milligr. chlorsaures Natron mit Milchzucker in einem geräumigen Zimmer verpufft werden. In der Gewichtseinheit der Luft, die an irgend einer Stelle des Zimmers mit der Flamme in Berührung kommt, ist dann ein zwanzigmillionstel Gewichtstheil Natron suspendirt, und die Flamme zeigt dennoch die gelbe Doppellinie. Fast ebenso leicht entdeckt man die Anwesenheit des Lithiums in der geringsten Menge, und hat dadurch nachgewiesen, dass dieses Metall zu den am allgemeinsten in der Natur verbreiteten Stoffen gehört.

Fraunhofer, *Wheatstone* und *Masson* haben beim Ueberspringen des elektrischen Funkens von einem Metalldraht auf einen andern helle Linien im Spectrum beobachtet, welche bewiesen, dass jedem Metall eigenthümliche Linien zukommen. Diese Linien wurden durch den Spectralapparat von *Kirchhoff* genauer bestimmt. Sie stimmen vollkommen mit den in der Flamme erhaltenen für gleiche Metalle überein und bestätigen, dass die elektrische Entladung Metalltheile im glühenden Zustand mit sich fortreisst.

Auch bei Gasen und Dämpfen, die in sehr verdünntem Zustand durch den elektrischen Funken in einer engen (Geissler'schen) Röhre zum Glühen gebracht werden, hatte *Plücker* schon vor Erfindung des Spectralapparates nachgewiesen, dass jedem Gas besondere Lichtlinien im Spectrum zukommen, und dass durch diese Linien die Natur eines Gases, den obigen Gesetzen entsprechend, angezeigt ist, es mag rein oder mit andern gemischt sein. Beim Wasserstoffgas fand er z. B. drei Linien: Eine rothe, nahe bei der Fraunhofer'schen Linie C, eine bläulichgrüne in F und eine blassviolette zwischen F und G.

Die nächste wichtige Folge der Erfindung des Spectralapparates ist endlich die Entdeckung zweier neuen Metalle, die in einer bisher unbemerkbar geringen Menge von *Bunsen* in der Soole gewisser Mineralwasser und auch in festen Körpern gefunden worden sind. Diese Metalle heissen Caesium und Rubidium und ihre Spectra sind in Fig. 336 unter dem des Strontiums abgebildet. Zur Vergleichung ist noch in erster Linie das Sonnenspectrum und in zweiter das des Kaliums dargestellt. Zur Orientirung sind die Hauptlinien *Fraunhofer's* mit durchgehenden Strichen angedeutet.

Fig. 336.

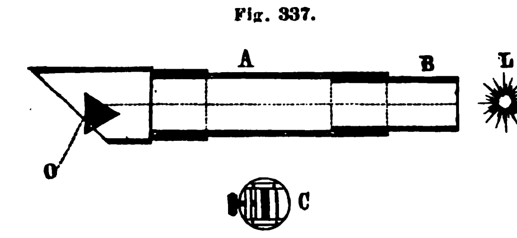


Das von *Crookes* durch das Spectroscop in neuester Zeit entdeckte, dem Blei ähnliche Metall, *Thallium*, zeichnet sich in der Gasflamme dadurch aus, dass sein Spectrum nur eine einzige sehr lebhaft grüne Linie enthält. Das grüne Licht dieser Flamme ist also monochromatisch wie das gelbe der Natriumflamme.

§. 248.

Um das Spectrum des Sonnen- oder Fixstern-Lichtes so wie anderer leuchtender Körper und der Flammen kennen zu lernen, kann man sich ausser den im §. 243 beschriebenen Mitteln auch nur eines einfachen guten Prisma's bedienen, welches man dicht vor das Auge hält, oder des weiter unten beschriebenen Apparates von *Bunsen* und *Kirchhoff*. Im ersten Fall muss möglichst dafür gesorgt sein, dass fremdes Licht vom Auge abgehalten wird und nur ein sehr dünner Lichtstreifen auf das Prisma fällt. Zu diesem Zweck nimmt man eine innen geschwärzte Röhre *A*, Fig. 337, von 20 Centim. Länge, in der sich eine Röhre *B* verschieben lässt, auf deren Ende man den Deckel *C* mit einem vertikalen Spalt steckt. Die Ränder dieses Spaltes müssen geradlinigt und genau parallel sein. Der eine Rand kann dem andern mittelst einer feinen Schraube genähert werden. Man hält zuerst das Rohr *A* vor das Auge und verschiebt das

Fig. 337.

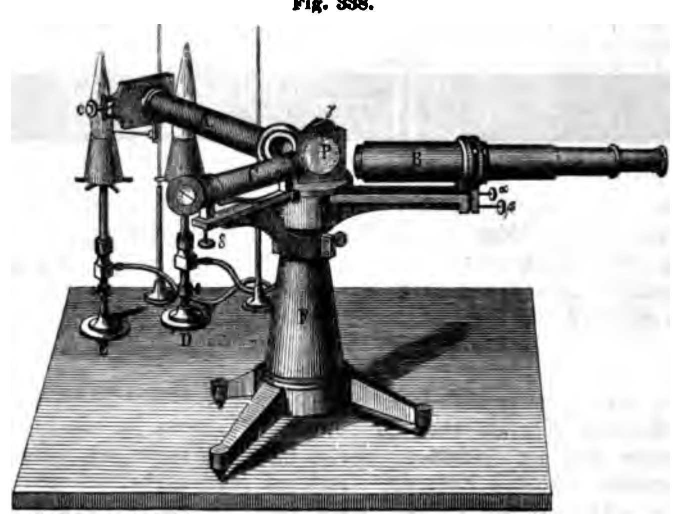


Rohr *B* so lange, bis man durch den Spalt von dem Licht *L* eine vollkommen scharf begränzte Lichtlinie wahrnimmt. Dann bringt man an die Stelle des Auges ein kleines gleichseitiges Prisma, und hält dessen brechende Kante parallel zu dem Spalt. Sieht man nun mit dem Auge schief in das Prisma, so findet man durch Drehung des letztern leicht die Stellung, in welcher das Spectrum der Lichtlinie deutlich erscheint. Hierauf beruht das Spectroscop von *Mousson*, womit die durch *Bunsen* und *Kirchhoff* gemachten Spectral-Entdeckungen zum Theil sichtbar werden, so wie auch die stärksten Fraunhofer'schen Linien und andere ähnliche Erscheinungen.

Von grösster Wichtigkeit ist aber der oben erwähnte Spectralapparat von *Bunsen* und *Kirchhoff*, der in Fig. 338 abgebildet ist.

Auf dem gusseisernen Fuss *F* ist eine horizontale Messingplatte befestigt, die ein Flintglasprisma *P* von 60° brechendem Winkel und das Rohr *A* trägt. Dieses ist an dem gegen das Prisma gekehrten Ende mit einer achromatischen Sammellinse, deren Brennweite der Länge des Rohrs entspricht, versehen. An dem andern Ende ist das Rohr durch eine in Fig. 339 besonders abgebildete Platte mit einem

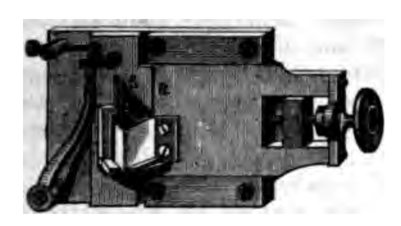
Fig. 338.



Spalt geschlossen. An dem Fusse sind ferner zwei Arme so befestigt, dass sie um die Achse von *F* drehbar sind. Der eine trägt das Fernrohr *B* von 8facher Vergrösserung, der andere das Rohr *C*. An dem gegen *P* gekehrten Ende von *C* ist eine Sammellinse wie in *A*, an dem andern eine Glasplatte, auf welche horizontal ein sehr feiner Maassstab photographirt ist. Das Bild desselben wird auf der Vorderfläche des Prisma's *P* nach der Achse des Fernrohrs *B* reflectirt. Ueber und unter dem Maassstab ist die Glasplatte mit Staniol bedeckt.

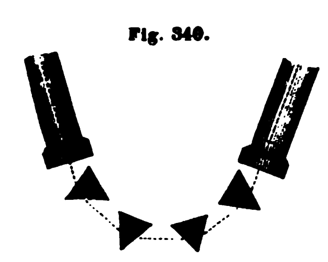
Von dem Spalt *a*, Fig. 339, ist die obere Hälfte frei, auf der untern liegt ein kleines gleichseitiges Prisma mit einer Fläche auf. Ein Lichtstrahl, der von der linken Seite auf dasselbe fällt, wird durch die innere Reflexion an der andern Seite in das Rohr *A* in Fig. 338 geleitet. Ist diess ein Sonnenstrahl, so gibt das Prisma *P* ein Spectrum von diesem. Ist es ein Strahl der Lampe *D*, so sieht man in dem Fernrohr *B* ihr Spectrum. Das Licht der zu vergleichenden Flamme der Bunsen'schen Lampe *E* fällt direct durch das Rohr *A* in gleicher Richtung auf *P*. Sein Spectrum fällt also unter das vorige, und kann durch den in das Fernrohr *B* sehenden Beobachter damit verglichen werden. Wenn man die Schrauben *α* und *β* gelöst hat, so kann man das Fernrohr *B* herausnehmen, auf einen sehr entfernten

Fig. 339.



Gegenstand richten und so einstellen, dass man diesen deutlich sieht. Das Fernrohr wird nun wieder eingesetzt und in die Richtung von *A*, nach Wegnahme von *P*, gebracht. Den Spalt von *A* zieht man nun so weit heraus, bis er im Fernrohr ganz deutlich erscheint. Nun wird das Prisma *P* mittelst der Feder γ festgemacht, und das Fernrohr *B* mit dem Arm so lange gedreht, bis das Spectrum, der vor den Spalt gestellten Flamme der Lampe *E*, deutlich erscheint. Dieses Spectrum fällt in den untern Theil des Gesichtsfeldes. Um das Spectrum der Flamme *D* zu sehen, muss man diese Lampe so lange rücken, bis das von dem kleinen Prisma innen reflectirte Licht parallel der Achse *A* wird. Das von *P* reflectirte Bild der Scala am Ende von *C* erhält man, nachdem diese durch eine dritte Lampe schwach beleuchtet ist, durch Drehen des zu *C* gehörigen Arms, und macht es deutlich durch Hin- und Herziehen der Kapsel, in der die Scala befestigt ist. Um dieses Bild genau an den Rand eines der beiden Spectra zu bringen, oder in ihre Mitte, dient die Schraube *S*. Der Schirm *S* in Fig. 339 dient, um seitliches Licht von dem Spalt *a* abzuhalten. Ueber das Prisma und die drei Röhren deckt man zu gleichem Zweck ein schwarzes Tuch. Das Rohr *C* stellt man, um einen bestimmten Ausgangspunkt zu haben, so ein, dass ein bestimmter Strich der Scala, z. B. der 100ste, auf die *D* Linie Fraunhofer's oder die Natrumlinie fällt. Ersteres wenn auf das kleine Prisma Sonnenlicht, letzteres wenn in der Flamme der Lampe *D* ein Natronkörnchen glüht. Die Fraunhofer'schen Linien fallen alsdann auf bestimmte Striche des Scalenbildes, die der Flamme *E*, zum Theil auf dieselben oder zwischen dieselben, und können so ihrer Lage nach genau verglichen und beschrieben werden.

Fig. 340.



Damit die Spectrallinien weiter auseinander liegen und ihrer Anzahl nach vollständiger gesehen werden können, liess *Kirchhoff* in einem, von dem vorigen nicht wesentlich verschiedenen Apparat, die von der Röhre *A* kommenden Lichtstrahlen durch vier, wie in Fig. 340, aufgestellte Prismen nach dem Fernrohr *B* gehen.

§. 249.

Das reflectirte Licht der Körper ist gewöhnlich gefärbt, weil nicht alle Lichtstrahlen zurückgeworfen werden. Wir nennen einen Körper weiss, welcher das Licht in *der* Mischung zurückwirft, welche dem Sonnenlichte eigen ist, und darum erscheint auch solches Licht im Spectrum mit den nämlichen Farben, wie jenes. Ein Körper heisst schwarz, wenn er so wenig Licht zurückwirft, dass dieses keinen merklichen Eindruck auf unser Auge macht. Die übrigen Farben, z. B. Roth, erscheinen, wenn nur diejenigen Lichtwellen vorzugsweise zurückgeworfen werden, welche durch ihre Geschwindigkeit in uns die Vorstellung von Roth hervorbringen. Diess wird nicht nur dadurch bestätigt, dass wenn man z. B. rothes Papier gegen das Tageslicht hält, und das von ihm reflectirte Licht auf eine weisse Wand fällt, auch diese roth erscheint, sondern auch dadurch, dass im rothen Theile des Spectrums rothes Papier noch röther, blaues im blauen Theile in voller blauer Farbe erscheint; während rothes Papier im Dunkelblau oder Violett fast vollkommen schwarz ist. Körper von gemischter Farbe reflectiren auch Licht von jeder Stelle des Spectrums.

So wie man das durch Brechung zerstreute Licht wieder zu Weiss

vereinigen und durch das Aufhalten eines Theils des Farbenspectrums gemischte Farben hervorbringen kann, indem man den andern Theil durch ein convexes Glas wieder vereinigt und in der Brennweite auf einem weissen Papier auffängt, so lässt sich auch durch reflectirtes farbiges Licht ein Eindruck hervorbringen, der dem des weissen Lichtes oder einer gemischten Farbe ähnlich ist. Hierzu dient *Busolt's* Farbenkreisel, welcher mit dem im §. 90 beschriebenen Kreisel der Hauptsache nach übereinstimmt. Bringt man darauf Scheiben von Papier, welche mit Roth, Gelb und Blau, oder mit Roth, Grün und Violett bemalt sind, so erscheinen diese, während er sich schnell umdreht, nahezu weiss. Noch besser ist eine Scheibe mit Sectoren aus durchsichtiger Leimfolie, welche die Farben des Spectrums haben. Leitet man in's dunkle Zimmer das durch eine convexe Linse divergirend gemachte Licht des Heliostats auf eine solche Scheibe, so erscheinen auf der gegenüberstehenden weissen Wand die Sectoren mit ihren Farben. Wird die Scheibe aber nun schnell im Kreis gedreht, so wird die beleuchtete Fläche weiss. Andere farbige Scheiben bringen eine andere Mischung hervor und, indem diese Mischung durch die Dauer der Eindrücke im Auge bedingt wird, so hängt die Färbung auch von der Schnelligkeit der Umdrehung ab.

Ein anderes Mittel, Farbenmischungen hervorzubringen, besteht darin, dass man farbige Papiere so gegen das Tageslicht hält, dass ihr farbiges Licht auf eine vor ihnen befindliche weisse Fläche zurückgeworfen wird. Diese zeigt dann die Mischfarbe besonders schön, wenn das Auge vor fremdem Lichte geschützt ist.

Nach *Helmholtz* ist ein grosser Unterschied zwischen den Mischfarben, die man durch Mischung von Farbstoffen erhält und denen, die durch den gleichzeitigen Eindruck des Spectrums hervorgebracht werden. So gibt z. B. das Gelb zwischen den Linien D und E des Spectrums und das Indigoblau in der Nähe der Linie G Weiss statt Grün. Ueberdiess scheinen nach längerer Einwirkung auf unser Auge bei blendender Helle alle Farben weiss zu werden. Betrachtet man z. B. die Sonne durch ein sehr dunkles violettes Glas, so erscheint sie ebenso weiss als die nebenbei betrachteten weissen Wolken.

Die Mischungsfarbe des bei dem vorigen Versuch aufgehaltenen Theils vom Spectrum und die Farbe des Lichtes, welches durch das convexe Glas concentrirt wurde, ergänzen einander zu Weiss und heissen daher *complementär*. Nun könnte man das ganze Spectrum z. B. in sieben Felder theilen, und diese durch a, b, c, d, e, f, g bezeichnen und aus a, b, e, g eine Farbe bilden, so würde, streng genommen, die aus c, d, f gemischte Farbe die complementäre sein, weil nur alle in ihrer Vereinigung das geben, was wir Weiss nennen. Da aber bei Mischungen von *Farbstoffen* Grün durch Gelb und Blau entsteht, und Roth, Gelb und Blau *Weiss* geben, so heisst auch Grün die *complementäre* Farbe von Roth. Ebenso ist Violett die complementäre Farbe von Gelb, und Blau von Orange. Hierauf beruht *Maier's* Behauptung, dass das Sonnenlicht nur aus drei Farben, Roth, Gelb und Blau bestehe, was aber bei der verschiedenen Brechbarkeit der andern Farben unrichtig ist, wie man daraus sieht, dass z. B. das Grün der Mischung durch ein Prisma in Gelb und Blau zerlegt wird, während das Grün des Spectrums

keine Zerlegung erfährt. Aus allem diesem sieht man, dass der Farbestoff sehr von der Farbe eines Körpers zu unterscheiden ist; der erstere ist nur die Ursache, dass Lichtwellen von einer gewissen Grösse stärker zurückgeworfen werden als andere. Bei der Reflexion von nicht ganz glatten Flächen, wie z. B. einem matten Glas, werden nach *Hankel* unter sehr spitzen Winkeln die rothen Strahlen allein zurückgeworfen und die längern Wellen überhaupt leichter als die kürzern. Dasselbe findet beim Durchgang statt; daher sieht man durch ein mattes Glas und durch die trübe Atmosphäre die Sonne oder ein Licht mit rother Färbung.

Wenn man ein Prisma durch ein Uhrwerk oder eine andere mechanische Vorrichtung in schnelle oscillirende Bewegung versetzt, so dass das Spectrum eines darauf fallenden Sonnenstrahls sich schnell um seine eigene Länge verschiebt, so erscheint nach *Münchow* die Stelle, auf die es fällt, wegen der Mischung weiss. Auch durch Aufeinanderlegen von einem bläulichgrünen, einem gelben und einem violetten Glas erhielt *Dove* ein getrübtes Weiss.

Ebenso erhielt *Maumené* durch die rosenrothe Lösung von Kobalt und die grüne von Nickel, indem er beide mischte, eine farblose Lösung.

§. 250.

Mit den Farben, welche ein Körper reflectirt, scheinen in manchen Fällen diejenigen in keiner Verbindung zu stehen, welche er durchlässt, bald stehen sie damit in einem nothwendigen Zusammenhang. So erscheint z. B. dünngeschlagenes Gold im reflectirten Lichte gelb, im durchgelassenen blaugrün. Dieselbe Eigenschaft haben auch Flüssigkeiten, mit denen Gold in feinvertheiltem Zustand gemischt ist. Nach *Dupasquier* ist diese Eigenschaft allen Körpern gemein, wenn sie in Blättchen oder einem andern hohen Grad feiner Vertheilung in einer Flüssigkeit oder Gasart suspendirt sind und sich nicht chemisch darin auflösen. Auch erscheinen die reflectirten Farben aller Körper schwächer, wenn diese dünn werden und also mehr Licht durchlassen. Doch scheint bei andern Körpern die Farbe des durchgehenden Lichtes von den im §. 211 angegebenen Ursachen abzuhängen. Nimmt man z. B. ein ebenes und polirtes Stück Smalteglas von blauer Farbe und betrachtet damit eine durch ein Prisma gegangene schmale Lichtlinie, so sieht man, wenn das Glas sehr dünn ist, alle Farben des Spectrums; ist es aber ohngefähr $\frac{1}{20}$ Zoll dick, so scheint das Spectrum aus verschiedenen Stücken zusammengesetzt, indem manche Stellen desselben erlöscht erscheinen, und viele schwarze Zwischenräume entstehen. Ist das Glas noch dicker, so verschwinden zuletzt alle Farben zwischen dem äussersten Roth und Violett.

Die prismatische Zerlegung des Sonnenlichtes, wenn es durch farbige Körper oder Flüssigkeiten gegangen ist, zeigt überhaupt, welche Theile des Spectrums absorbirt und welche durchgegangen sind. Ebenso findet man die Zusammensetzung des reflectirten Lichtes, wenn man einen schmalen Streifen des reflectirenden Körpers auf dunklem Grund durch ein Prisma betrachtet.

Leitet man Licht durch ein Glasgefäss mit parallen Wänden, in welchem Jod allmälig erwärmt wird, und betrachtet man den durchgegangenen Lichtstrahl wie beim Fraunhofer'schen Versuch durch ein Prisma und ein dahinter befindliches Fernrohr, so erscheinen zuerst in

dem blauen Lichte, nahe am violetten, blasse schwarze Streifen von fast gleichem Abstand. Wird der Joddampf dichter, so entstehen in allen Theilen des Spectrums solche dunkle Striche, die im Roth dichter beisammen stehen als im Violett. Bei noch grösserer Dichte des Dampfes verschwinden die dunkleren Farben des Spectrums, bis zuletzt nur noch ein kleines Stück des rothen übrig bleibt, welches aber ganz von schwarzen Strichen erfüllt ist. Aehnliche Erscheinungen finden im Bromgase und unterchlorsauren Gase statt. In den rothen Dämpfen der Untersalpetersäure, welche sich beim Uebergiessen von Kupfer mit Salpetersäure entwickeln, nahm *Brewster* unzählige, aber ungleich abstehende schwarze Striche auf obige Art wahr. In farblosen Gasen zeigen sich nach *W. A. Miller* niemals andere als die Fraunhofer'schen Linien; aber die Farbe allein bedingt weder ihr Dasein, noch ihre Zahl und Ordnung. Es können dieselben Linien in verschiedenen Oxydationsstufen derselben Substanz erscheinen. Ihre Anzahl und Dichte wächst bei Verlängerung des Wegs oder bei Erhöhung der Farbenintensität. Wenn man Kupferchlorid in Weingeist auflöst, so ist die Flamme desselben im Spectrum von hellen Strichen erfüllt, die so geordnet sind, dass sie immer paarweise vorkommen.

§. 251.

Die dunkeln Linien *Fraunhofer's*, sowie die Farben, welche durch theilweise *Absorption des Lichtes* entstehen, lassen sich mit grösster Wahrscheinlichkeit durch die im §. 227 angegebenen Absorptionsgesetze und die darauf beruhende *Umkehrung der Flammenspectra* erklären. In dem Spectrum des Drummond'schen Kalklichtes, sowie in dem aller glühenden, festen oder flüssigen Körper zeigen sich nemlich gar keine dunkeln Linien. Bringt man aber nach *Kirchhoff*, während der Betrachtung dieses Spectrums, durch einen der im §. 248 beschriebenen Apparate, vor den Spalt eine mit Kochsalz gelb gefärbte Weingeistflamme, also die Natriumflamme, so erscheint an der Stelle, an welcher im Sonnenspectrum die Fraunhofer'sche Doppellinie *D* erscheinen würde, eine dunkle Doppellinie, weil nach dem obigen Gesetz die Natriumflamme eine Absorption ausübt, auf die Strahlen von der Wellenlänge und Brechbarkeit derer, die sie aussendet. Sendet das Drummond'sche Licht oder ein glühender Platindraht nun sehr intensives Licht auf den Spalt, so ist diese *D*-Linie nur nicht so hell, als die übrigen Theile des Spectrums, weil alle andern Strahlen ungeschwächt durch die Natriumflamme gehen. Ist aber die Leuchtkraft, also auch das Absorptions-Vermögen der Natriumflamme zu schwach, wie bei Anwendung der Bunsen'schen Lampe, so ist die Intensität des durchgehenden gelben Lichtes zu gross, und man nimmt die dunklen Linien nur am Rande oder gar nicht wahr. Wendet man statt des Drummond'schen Lichtes, Sonnenlicht an und schwächt man dieses sehr viel, so erscheint die dunkle *D*-Linie durch die Natriumflamme nur um so dunkler. Eben so leicht kann die rothe Lithiumlinie umgekehrt werden. Lässt man nämlich durch eine Lithiumflamme einen Sonnenstrahl in den Spectralapparat gehen, so zeigt sich am Ort der Lithiumlinie eine schwarze Linie, die sogleich verschwindet, wenn die Lithiumflamme entfernt wird. Ebenso ist *Bunsen* und *Kirchhoff*

die Umkehrung bei den andern Metallen, jedoch weit weniger leicht gelungen.

Auch die glühenden Gase *Plückers* müssen demnach, wenn in ihren Spectren Farben fehlen, die Lichtstrahlen der fehlenden Wellenlängen durchlassen und die der emittirten Farben um so stärker absorbiren, je heller die Farbe des emittirten Lichtes ist.

Von grossem Einfluss ist bei den *Absorptions-Farben* die Empfindung unseres Auges für die verschiedenen Farben. Angenommen es werde, beim Durchgang des rothen Lichtes durch die erste Schichte von der Dicke *Eins*, $\frac{1}{5}$ absorbirt, so gelangt zur Vorderfläche der zweiten Schichte von seiner Intensität J nur $\frac{4}{5}\,J$. Wird nun in der zweiten Schichte wieder $\frac{1}{5}$ davon absorbirt, so erhält die dritte nur $\frac{4}{5}\cdot\frac{4}{5}\cdot J$ und aus der $n$ten Schichte dringt noch $\left(\frac{4}{5}\right)^n\cdot J$. Für eine andere Farbe, z. B. Grün, sei die Stärke des durch n Schichten gegangenen Lichtes $\left(\frac{2}{3}\right)^n\cdot J^1$. Verhalten sich nun die Lichtstärken J und J^1 von Roth und Grün wie 100 zu 480, so kann $\left(\frac{4}{5}\right)^n\cdot 100$ kleiner oder gleich, oder sogar grösser werden, als $\left(\frac{2}{3}\right)^n\cdot 480$. So ist für $n = 6$, Roth schwächer als Grün und für $n = 10$ Roth stärker als Grün. Wenn also durch einen Körper alle Farben des Sonnenlichtes ausser Roth und Grün absorbirt werden, so kann das durchgehende Licht bei verschiedenen Dicken bald grün, bald roth erscheinen. Diess ist z. B. der Fall bei einer Lösung von Blattgrün in Alkohol. Das Spectrum des durchgegangenen Lichtes zeigt fast nur Roth und Grün. Eine dünne Schichte erscheint im durchgehenden Lichte grün, eine dicke roth. Wäre das Absorptions-Verhältniss für alle Farben gleich, so müsste die Mischung des durchgehenden Sonnenlichtes bei jeder Dicke wieder weiss sein.

§. 252.

Das im vorigen §. erwähnte Zusammenfallen der Natriumlinie mit der D-Linie des Spectrums hat schon *Fraunhofer* beobachtet. *Kirchhoff* hat inzwischen entdeckt, dass eine grosse Anzahl der dunkeln Linien des Sonnenspectrums mit den hellen Linien der verflüchtigten glühenden Metalle genau zusammenfällt. Diess ist z. B. bei 60 Eisenlinien der Fall, die bei der Zerlegung des Spectrums von dem zwischen Eisenspitzen überspringenden elektrischen Funken sich zeigen. Daraus folgt, dass man mit dem höchsten Grade von Wahrscheinlichkeit annehmen kann, die 60 dunkeln Linien des Sonnenspectrums seien dadurch entstanden, dass die weissglühende Sonne von einer Dampfatmosphäre umgeben ist, welche unter andern auch Eisendämpfe enthält. Ebenso folgt daraus, dass Natrium-, Magnesium- und Calciumdämpfe darin sind, und wahrscheinlich auch Chrom, Nickel, Baryum, Kupfer und Zink.

Demnach ist es fast unzweifelhaft, dass die Sonne ein in der höchsten Glühhitze befindlicher Körper ist, welchen eine Dampfatmosphäre von etwas niedrigerer Temperatur umgibt. Bei den Planeten war diess früher wahrscheinlich auch der Fall. Die kleinsten, wie der Mond, sind längst erkaltet; der Jupiter aber, wie es nach seinen Wolkengürteln scheint, ist noch viel heisser, als die Erde, weil er eine viel grössere Masse hat. Die dunkeln Sonnenflecken entstehen nach *Kirchhoff* durch Wolken, welche aus den Dämpfen der Sonnenatmosphäre durch Abkühlung gebildet sind. Ueber diesen Wolken muss die Abkühlung noch grösser, die Dichte der Dämpfe also geringer sein. Darum kann sich über jeder grossen Wolke noch eine

zweite weniger dunkle Wolke bilden, die über die untere hervorragt und den grauen Rand der schwarzen Flecken hervorbringt. Strömungen der Sonnenatmosphäre, die in der Tiefe von den Polen nach dem Aequator der Sonne gehen, dort aufsteigen und wieder nach den Polen sich senken, sind auch dort wahrscheinlich, wenn die Beobachtungen von *Secchi* richtig sind, dass die Temperatur an den Polen der Sonne geringer ist, als in der Aequatorial-Zone. In diesem Fall müssen aber da, wo die Ströme sich begegnen, also in der Nähe dieser Zone Wolken entstehen, und diess ist auch nur bis zu einer gewissen Entfernung vom Aequator der Fall. Sonnenfackeln bilden sich wahrscheinlich, wenn an der Oberfläche Körper sichtbar werden, die ein grosses Ausstrahlungsvermögen besitzen.

Auch in der Atmosphäre unserer Erde entstehen durch Absorption einige dunkle Linien. Ihre Zahl ist geringer auf hohen Bergen und grösser bei niedrigem Stand der Sonne.

§. 253.

Eine andere hieher gehörige Erscheinung ist die *Fluorescenz*. Sie besteht darin, dass manche Körper die Eigenschaft haben, Licht zu reflectiren oder durchzulassen, dessen Farbe von der des auffallenden Lichtes verschieden ist. Der Name ist von dem Flussspath entlehnt, dessen Varietäten, z. B. die grüne von Aston-Moor, in gewissen Richtungen betrachtet, blau aussehen. Noch besser nimmt man die Fluorescenz in einer wässrigen Lösung von schwefelsaurem Chinin wahr, der man einige Tropfen Schwefelsäure zugesetzt hat. Am schönsten und zwar goldgelb zeigt sie sich, wenn man eine sehr concentrirte Lösung von Kaliumplatincyanur auf Papier trägt und trocknen lässt. Ferner tritt sie sehr lebhaft hervor in Weingeistlösungen von Stechapfelsamen, Curcuma-Wurzel, Blattgrün und Lackmus. Ebenso in einem wässerigen Aufguss auf Rosskastanienrinde und in Glas, welches durch Uran grün gefärbt ist und den Namen Annaglas führt. Um die Erscheinung wahrzunehmen, kann man die obigen Lösungen in dünnen weissen Gläsern bloss gegen das Fenster halten, oder, wie in Fig. 341, das Sonnenlicht durch eine Sammellinse von einigen Zoll Brennweite darauf leiten. Der Lichtkegel erscheint alsdann innerhalb der Flüssigkeit und besonders lebhaft nahe an der Oberfläche

Fig. 341.

beim Kaliumplatincyanur gelblich,
in der Chininlösung hellblau,
im Blattgrünauszug roth,
in der Stechapfeltinktur grünlich,
in der Curcumatinktur grün,
in dem Kastanienrindenauszug hellblau,
im Uran oder Annaglas grün.

Diese Farben bleiben in manchen Fällen auch noch, wenn selbst ein anders gefärbtes Licht auf eine dieser Lösungen fällt. Hält man z. B. dicht vor die Linse ein Fläschchen mit schwefelsaurem Kupferoxyd-Ammoniak, welches nur blaues Licht durchlässt, so erscheint die darunter befindliche Stechapfeltinktur dennoch grün und Kaliumplatincyanur goldgelb. Das blaue Licht wird also in solches von grösserer Wellenlänge oder geringerer Brechbarkeit verwandelt; dagegen geht das grüne Licht dieser Tinktur nur sehr schwach durch die blaue Flüssigkeit.

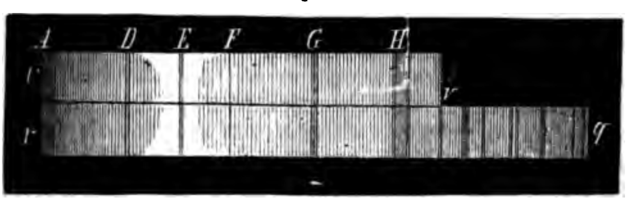
Die von *Stockes* über diesen Gegenstand geführte Untersuchung brachte ihn noch zu nachstehenden wichtigen Entdeckungen:

Wenn man auf einem mit schwefelsaurem Chinin gefüllten Glastrog, auf einem mehrmals damit oder mit Kaliumplatincyanur angestriche- dicken Papier, das durch ein Flintglas- oder noch besser durch ein krystall-Prisma, wie in §. 243 Anm., hervorgebrachte Spectrum auf- ;, so bemerkt man, dass im Blau die Fluorescenz beginnt. Man die Farben des Spectrums gleichsam bedeckt durch einen Streifen zerstreutem Lichte, welcher zwischen den dunkeln Streifen *F*, *G* *H* des Spectrums, Fig. 330, Seite 276, beginnt, und sich noch weit die violette Gränze des Spectrums hinaus erstreckt. Dadurch wird 'arbe des blauen und violetten Theils bläulichweiss. Hat man das :rum so hervorgebracht, dass die dunkeln Linien Fraunhofer's auf Papierschirm erscheinen, so nimmt man auf dem mit Chinin be- ıenen Schirm ausser diesen auch noch andere in dem sonst dunkeln ı neben dem Violett wahr, welche früher nicht bekannt waren und n Fig. 330 abgebildet sind. Dieses bläulichweisse Licht ist selbst ıllen Theilen der Spectrums-Farben zusammengesetzt, wovon man leicht überzeugen kann, wenn man ein Prisma horizontal vor's Auge und durch dieses auf das gleichfalls horizontale Spectrum hinsieht. un die blauen, violetten und über dieses hinaus liegenden unsicht- ı Strahlen des Spectrums zum Theil in sichtbares Licht von geringe- brechkraft oder grösserer Wellenlänge verwandelt sind, so müssen aus Wellen von kürzerer Schwingungsdauer solche von längerer Os- ionszeit entstehen, und diess ist das wichtigste an der Fluorescenz. ınsichtbaren Strahlen neben dem Violett werden so zum Theil in bare verwandelt.

Dass jedoch nur ein Theil des Lichtes diese Eigenschaft besitzt, daraus hervor, dass Lichtstrahlen, welche durch eine Chininlösung ıgen sind, in einer zweiten Lösung desselben Körpers sie nicht mehr rzubringen im Stande sind. Ebenso gehen auch beim Durchgang ı andere Körper, wie Crownglas, die unsichtbaren Strahlen gröss- eils verloren und das Spectrum des Crownglases zeigt daher die Erscheinung nicht. Nach *Guillemin* entsteht die Fluorescenz im n der Körper, und zwar in einem um so grössern Abstand von der läche der Körper, je weniger brechbar die Strahlen sind, daher die Dicke, bis zu welcher das Licht eindringen muss, damit alle escenz aufhört, um so grösser ist, je grösser die Wellenlänge der baren Strahlen ist.

Fängt man das Flintglas-Spectrum auf einem weissen Bogen Papp- l auf, in dessen Mitte man einen breiten Streifen *rq*, Fig. 342,

Fig. 342.

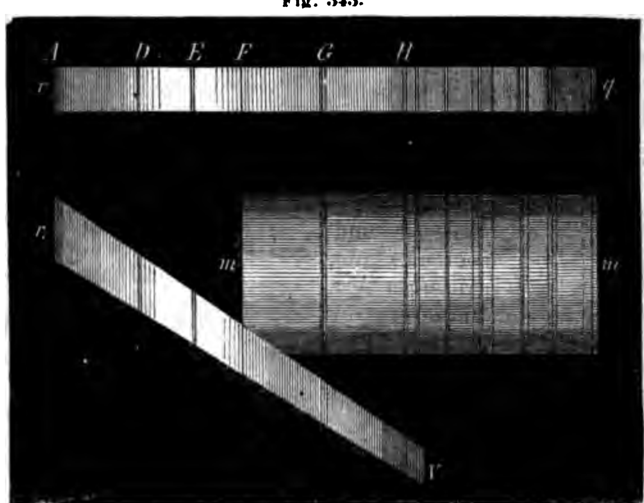


hininlösung, die einige Tropfen Schwefelsäure enthält, mehrmals :hen hat, und richtet man es so ein, dass ein Theil des Spec-

trums auf diesen Streifen, ein anderer daneben, nach *rv* fällt, so kann man, wie in der Zeichnung, wahrnehmen, dass auf der Chininlösung das Spectrum beträchtlich länger ist, als auf dem Papier. In Fig. 330 ist es vollständiger abgebildet.

Da nun das untere Spectrum in Fig. 342 aus zwei Theilen besteht: 1) Aus farbigem Licht, welches dem obern Spectrum entspricht, und 2) aus zerstreuetem weissem Licht, welches durch die Fluorescenz des Chinins aus dem blauen, violetten und unsichtbaren Licht entstanden ist, so muss der untere Streifen *rq*. durch ein Prisma betrachtet, auch zweierlei Spectra *r,v* und *mm*, wie in Fig. 343, geben. Das erste *r,v* entsteht

Fig. 343.



durch die ungleiche Brechbarkeit der im untern und obern Spectrum *rv* und *rq*, Fig. 342, zugleich enthaltenen Lichtarten, das zweite *mm* durch die Zerlegung des nur im untern Spectrum *rq* enthaltenen, durch Fluorescenz entstandenen Lichtes, welches darum der ganzen Länge nach oben schwach roth, unten schwach blau ist.

Aus dem unsichtbaren Theil des Spectrums neben dem Violett, so wie aus den violetten und blauen Strahlen entstehen also durch Fluorescenz alle Arten des gewöhnlichen Tageslichtes. Da es nun viele Körper gibt, welche theils nur Licht von kürzerer Wellenlänge erzeugen, theils nur solches Licht durchlassen, so ist es natürlich, dass sich die Fluorescenz auch in solchen Fällen besonders auffallend zeigt. Leitet man durch einen Heliostat einen Lichtbüschel in's dunkle Zimmer, der durch ein Kobaltglas gegangen ist, so erscheint er blau, enthält aber viele unsichtbare Strahlen. Bringt man nun das mit Chininlösung oder einer andern fluorescirenden Substanz bestrichene Papier in dieses blaue Licht, so erscheint es hell erleuchtet, während ein anderes Papier, ein Porzellanteller oder dergleichen blau ist. Besonders schön leuchtet mit grüner Farbe das Uran- oder Annaglas, am schönsten Kalium-Platin-Cyanür und zwar mit goldgelber Farbe. Weisse Blumen erscheinen blau, aber gelbe und braune Blüthen mit herrlicher, oft feurig rother Farbe, wäh-

rend ihre grünen Blätter dunkler roth, wie oben das Blattgrün, gefärbt sind. Ausser dem Kobaltglas gibt es noch viele andere Mittel, unsichtbare Strahlen zu erhalten. Eine schwach leuchtende Weingeistflamme, die Wasserstoffflamme, der brennende Schwefelkohlenstoff, der elektrische Funke, aber besonders schön das elektrische Licht im luftleeren Raum oder das sogenannte Nordlicht im elektrischen Ei. Am vortheilhaftesten ist Schwefel, der im Sauerstoff brennt. Alle diese Quellen geben mehr fluorescirende Strahlen, als die glänzendsten Flammen anderer Art. Da nach §. 243 die unsichtbaren Strahlen besonders starke chemische Wirkung haben, so haben auch diese Lichtquellen in hohem Grad jene Eigenschaft.

Die Fluorescenz ist durch Stockes auch ein Unterscheidungsmittel chemisch verschiedener Substanzen geworden. Diese zeigen, wenn sie auf obige Art dem blauvioletten Licht eines Mangan- oder Kobaltglases oder dem blauen, durch Kupferoxyd-Ammoniak gegangenen Lichte im dunklen Zimmer dicht hinter dem Heliostat ausgesetzt werden, die kleinsten Spuren von Fluorescenz, wenn sie überhaupt diese Eigenschaft besitzen. Wenn man sie dann durch Gläser von verschiedenen Farben betrachtet, so kann man erkennen, welche Art von Licht durch die Fluorescenz in ihnen vorzugsweise entstanden ist. Betrachtet man sie aber durch einen engen Spalt und hält man ein Prisma vor's Auge, so erkennt man auch die Zusammensetzung des Lichtes. Die Menge der Strahlen von hoher Brechbarkeit wächst mit der Höhe der Sonne. Nur der Bergkrystall lässt alle durch; das reinste Glas dagegen nur einen Theil, und zwar die weniger brechbaren Strahlen. Orangefarbiges Glas aber gar keine und eine gewisse Sorte desselben selbst die sichtbaren chemischen Strahlen von G bis H nicht.

Da nach §. 205 auch manche durch Insolation phosphorescirende Körper die Farbe des Lichtes ändern, so findet auch in ihnen eine Verwandlung der Wellenlänge statt. Bei ihnen dauert aber das Leuchten im Dunkeln noch fort, während es bei der Fluorescenz durch die Anwesenheit von Licht bedingt ist.

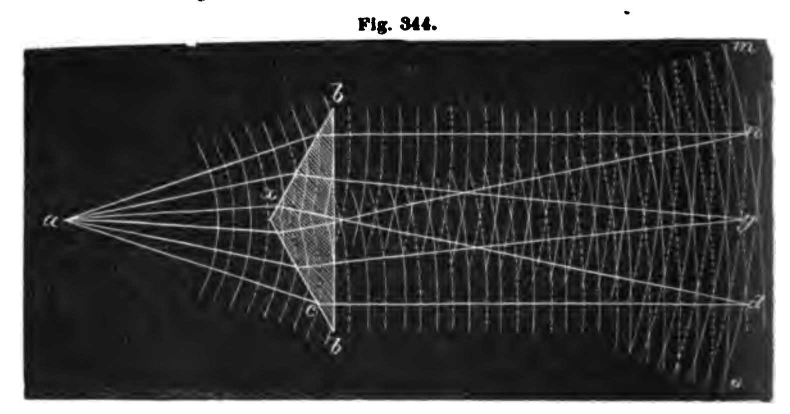
G. Von den durch die Interferenz hervorgebrachten Lichterscheinungen.

§. 254.

Unter der *Interferenz* des Lichtes versteht man alle diejenigen Lichterscheinungen, welche durch das Zusammentreffen paralleler oder nahezu paralleler Lichtstrahlen hervorgebracht werden. Diese Erscheinungen haben ihren Grund darin, dass, nach §. 169, zwei Lichtwellen sich nach Umständen entweder schwächen oder verstärken können, oder dass Licht mit Licht sowohl stärkere Helle, als auch Dunkelheit hervorbringen kann. *Young* entdeckte die Interferenz des Lichtes, indem er durch zwei sehr feine, einander nahe Oeffnungen, homogenes Licht in ein dunkles Zimmer auf eine weisse Fläche leitete. Er bemerkte, dass sich alsdann auf dieser Fläche abwechselnd helle und dunkle Streifen zeigten, welche sogleich verschwanden, wenn eine der beiden Oeffnungen

zugehalten wurde. Er erklärte sich diese Erscheinung dadurch, dass er annahm, an den dunkeln Stellen betrage der Unterschied der von den Lichtwellen zurückgelegten Wege $1/2$ oder $1\,1/2$, $2\,1/2$, $3\,1/2$ etc. Wellenlängen; und an den hellen Stellen dagegen 0 oder 1, oder 2, 3, 4 . . Wellenlängen. Im ersten Fall muss nach §. 169 Dunkelheit, im letzten verstärktes Licht entstehen. Durch folgenden Versuch wird dieser Satz vollkommen bestätigt: Wenn von einem leuchtenden Punkte *a*, Fig. 344,

Fig. 344.



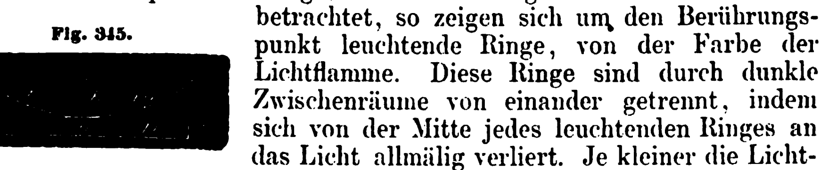
gleichartiges Licht auf ein Prisma *bb* fällt, welches bei *x* einen sehr stumpfen Winkel bildet, so sieht ein in der Richtung *ag* befindliches Auge, vermöge der gewöhnlichen Brechung, den Punkt *a* doppelt. Bringt man aber zwischen das Auge und das Prisma eine Loupe, so nimmt man zwischen beiden Bildern eine Anzahl heller und dunkler parallelen Streifen wahr, welche zu der Verbindungslinie beider Bilder senkrecht sind. Deckt man die eine Hälfte des Prisma's zu, so erscheint zwar noch das eine Bild, aber die Streifen verschwinden. Die Entsteh dieser hellen und dunkeln Streifen wird durch die Fig. 344 versinnli In ihr bezeichnen die starken Wellenstriche Stellen, an denen die schwingende Bewegung der Aethertheilchen nach der einen Richtung geht (den Berg der Welle), und die punktirten Wellenstriche diejenigen Entfernungen, an welchen sie in gerade entgegengesetzter Richtung schwingen (das Thal). Ihr Abstand ist also gleich einer halben Wellenlänge. Die Fortpflanzung des Lichtes im Prisma und hinter demselben ist genau nach den Brechungsgesetzen construirt. Indem nun die Wellen, welche durch die untere und die obere Hälfte des Prisma's gegangen sind, sich in der Ebene *mo* durchkreuzen, und in der mittlern Richtung *ag* Thal mit Thal und Berg mit Berg zusammentreffen, so müssen sich die Wirkungen der Schwingungen hier verstärken. Bei *d* und *n* aber und in den von dort aus verfolgbaren krummen Linien schneiden sich beständig Berg und Thal. In diesen Richtungen kann also kein Lich übrig bleiben. Bei *m* und *o* verstärken sich die Wellen wieder u. s. w. Die Gestalt der eben erwähnten krummen Linien, welche man durch Messung der Abstände von dem mittleren hellen Theil erhält, indem man sich dem Prisma nähert, stimmt ganz mit den aus der Theorie sich ergebenden Kurven überein. Da die rothen Strahlen aus Licht von längeren Wellen bestehen als die violetten, so werden auch die rothen Streifen

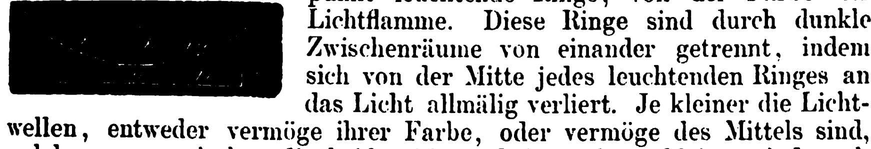
an einer entfernteren Stelle von der Mitte erscheinen als die violetten. Man bemerkt darum auch sogleich eine Veränderung in dem Bilde, wenn man statt des rothen, violettes Licht auf das Prisma fallen lässt. Daraus folgt, dass bei Anwendung von zusammengesetztem, z. B. weissem Licht, rothe, gelbe u. s. w. Streifen entstehen müssen, die alle von der Mitte verschiedene Abstände haben, und darum erscheinen auch im Sonnenlichte die hellen Streifen mehrfarbig. Statt des Prisma wendet man häufig, wie *Fresnel* that, zwei Spiegel an, die einen sehr stumpfen Winkel bilden, und desshalb von einem leuchtenden Punkt ebenfalls zwei nahe bei einander liegende Bilder geben. Wenn das Licht eines homogenen Sonnenstrahls, der durch eine convexe Linse oder ein cylindrisches Glas gegangen ist, die Spiegel unter einem sehr stumpfen Winkel trifft, so kann die Erscheinung auch objectiv dargestellt werden. Wenn der Unterschied der Wege mehrere Wellenlängen beträgt, so ist diese Erscheinung nicht mehr auffallend, und bei zu vielen verschwindet sie gänzlich. Diess ist die Ursache, warum man sie bei Prismen mit schärfern Winkeln nicht wahrnimmt. *Young* war der erste, welcher das Undulations-System auf die Erklärung dieser Erscheinung anwandte und dadurch dieser Theorie ein entscheidendes Uebergewicht verschaffte, welches durch *Arago's* schöne Entdeckung, dass das Licht an den dunkeln Stellen im Chlorsilber keine Färbung hervorbringt, noch verstärkt wurde.

§. 255.

Wenn man eine sehr wenig convexe Glaslinse *a*, Fig. 345, auf eine ebene Glasplatte *cd* legt, und im homogenen reflectirten Lichte betrachtet, so zeigen sich um den Berührungspunkt leuchtende Ringe, von der Farbe der Lichtflamme. Diese Ringe sind durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt, indem sich von der Mitte jedes leuchtenden Ringes an das Licht allmälig verliert. Je kleiner die Lichtwellen, entweder vermöge ihrer Farbe, oder vermöge des Mittels sind, welches man zwischen die beiden Gläser bringt, desto kleiner sind auch die entstehenden Ringe, und je schiefer das Licht auffällt, desto grösser sind sie. An denselben Stellen, an welchen im reflectirten Lichte helle Ringe erscheinen, sieht man im durchgehenden Lichte dunkle Ringe und umgekehrt. Wenn man die Durchmesser der farbigen Kreise misst, so findet man, dass sich ihre Quadrate im reflectirten Lichte verhalten, wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 u. s. w., und bei den dunkeln Kreisen findet man, dass sich die Quadrate der Durchmesser verhalten, wie die geraden Zahlen 2, 4, 6 u. s. w. Beim durchgehenden Lichte gilt für die dunkeln Ringe dasselbe, was beim reflectirten für die hellen, und ebenso für die hellen, was dort für die dunkeln. Um diese Erscheinung zu erklären, nahm schon *Young* an, dass, wenn eine Lichtwelle aus einem stärker brechenden Mittel auf ein weniger brechendes trifft, sie während der Reflexion um eine halbe Wellenlänge gleichsam verzögert werde. Diess ist auch nach den im §. 237 erwähnten Gesetzen für Licht, welches senkrecht zur Reflexionsebene schwingt, vollkommen begründet, und für anders schwingende Strahlen wird es durch Zerlegung

Fig. 345.





bestätigt. Mit Hilfe dieses Gesetzes kann man darum die Einwirkung zweier Lichtstrahlen *ab* und *gd*, Fig. 346, welche neben einander mit gleicher Oscillations-Geschwindigkeit und zu gleicher Zeit auf ein dünnes Mittel, z. B. eine sehr dünne Wasserschichte *mnop* fallen, folgendermassen finden: Der Lichtstrahl *ab* wird zum Theil nach *bk* reflectirt, zum Theil nach *bc* gebrochen; *bc* wird theils nach *cd* reflectirt, theils nach *ch* gebrochen. Ebenso wird *gd* theils nach *de* gebrochen, theils nach *dl* reflectirt, und endlich *de* theils nach *ei* reflectirt, theils nach *ef* gebrochen. Bei jeder Reflexion von der innern Fläche des dichtern Mittels beträgt die Verzögerung die Hälfte der Wellenlänge. Nennt man daher die Länge einer Welle l, so tritt das bei b eingetretene Licht zum Theil bei d so aus, als hätte es den Weg $bc + \frac{l}{2} + cd$ zurückgelegt, und ein anderer Theil tritt bei e so aus, als hätte er den Weg $bc + \frac{l}{2} + cd + \frac{l}{2} + de$ gemacht. Der Lichtstrahl *gd* wird ohne Verzögerung theils in d nach *dl* reflectirt, theils in e durchgelassen, nachdem er den Weg *de* durchlaufen hat. Der in e reflectirte Theil *ei* wirkt bei i auf einen Lichtstrahl *ri* ebenso, wie *cd* auf das von *gd* herrührende reflectirte Licht in *dl*, und bringt also die nämliche Erscheinung hervor.

Fig. 346.

Ist nun $bc = \frac{l}{4}$, so beträgt der Weg des von *ab* herrührenden und bei d austretenden Lichtes $\frac{l}{4} + \frac{l}{2} + \frac{l}{4}$ oder l, d. h. eine ganze Wellenlänge; das von *gd* in d reflectirte Licht *dl* wird also dadurch verstärkt. Der Weg des von *ab* herrührenden und bei e austretenden Lichtes beträgt $\frac{l}{4} + \frac{l}{2} + \frac{l}{4} + \frac{l}{2} + \frac{l}{4}$ und der Weg des von *gd* herrührenden und bei e austretenden Lichtes beträgt $\frac{l}{4}$. Der Unterschied ihrer Wege ist also $\frac{l}{4} + \frac{l}{2} + \frac{l}{4} + \frac{l}{2}$ oder anderthalb Wellenlängen; folglich wird der Lichtstrahl *ef* geschwächt erscheinen müssen. Wenn also die Dicke des Plättchens nach der Richtung *bc*, in welcher das Licht durchgeht, den vierten Theil einer Wellenlinie beträgt, so wird das reflectirte Licht in d hell, das durchgehende in e oder gerade gegenüber dunkel erscheinen.

Ist $bc = \frac{l}{2}$, so beträgt der Weg des von *ab* stammenden, in d austretenden Lichtes $\frac{l}{2} + \frac{l}{2} + \frac{l}{2}$ oder anderthalb Wellenlängen; das von *gd* stammende und in d reflectirte Licht wird also dadurch geschwächt oder dunkel. Der Antheil von *ab*, welcher in e austritt, hat

den Weg $\frac{l}{2} + \frac{l}{2} + \frac{l}{2} + \frac{l}{2} + \frac{l}{2}$ gemacht, und der Antheil des *gd*, welcher in *c* austritt, nur den Weg $\frac{l}{2}$; ihr Unterschied ist also $\frac{l}{2} + \frac{l}{2} + \frac{l}{2} + \frac{l}{2}$ oder das Doppelte einer Wellenlänge. Der austretende Lichtstrahl *gdef* wird also durch *ab* verstärkt. Beträgt daher die Dicke des Plättchens nach der Richtung *bc* die Hälfte einer Wellenlänge, so wird das reflectirte Licht verschwinden und das durchgehende hell erscheinen.

Es lässt sich nun leicht einsehen, dass ebenso der reflectirte Lichtstrahl *ld* verschwindet, wenn *bc* die Länge $\frac{2l}{4}, \frac{4l}{4}, \frac{6l}{4}, \frac{8l}{4} \ldots$ hat; und dass er verstärkt zurückgeht, wenn *bc* die Länge $\frac{1l}{4}, \frac{3l}{4}, \frac{5l}{4}, \frac{7l}{4} \ldots$ u. s. w. hat; und dass im ersten Falle der durchgehende Lichtstrahl verstärkt wird, und im letzten verschwindet.

Wenn die Oberflächen *mn* und *op* sich unendlich nahe sind, oder das Plättchen dünner als selbst ein kleiner Theil der Wellenlänge ist, so nahm man sonst an, es werde *gd* direct zurückgeworfen, und *ab*, indem es den unendlich kleinen Zwischenraum hin und her durchläuft, werde nach der obigen Voraussetzung bei der Reflexion um eine halbe Wellenlänge verzögert; desshalb müsse dann ein unendlich dünnes Plättchen im reflectirten Lichte dunkel erscheinen. Diess ist aber, wie *Wilde* bewiesen hat, nicht der Grund, sondern es erscheint im reflectirten Licht nur desshalb dunkel, weil man durch dieses Plättchen die darunter liegenden Gegenstände noch sieht, und sein reflectirtes Licht sehr schwach ist; auch muss, damit jene Verzögerung um $\frac{l}{2}$ eintritt, das Plättchen noch eine merkliche Dicke haben.

Die einfachsten Folgen dieser Erfahrung sind also: 1) dass ein sehr dünnes Plättchen, dessen Dicke immer mehr abnimmt, im reflectirten homogenen Lichte bald hell, bald dunkel erscheinen muss, und ebenso im durchgehenden. 2) Dass ein wie ein Keil gleichförmig an Dicke abnehmendes Plättchen an dem dünnsten oder äussersten Rande im reflectirten Lichte dunkel, in einem zunächst liegenden Streifen hell, dann wieder dunkel u. s. w. erscheinen muss, während das durchgehende Licht die entgegengesetzten Erscheinungen zeigt. Diess kann man sehr deutlich sehen, wenn man den obern Rand eines Trinkglases in Seifenbrühe taucht, dieses nach dem Herausziehen schief hält, und das gebildete Häutchen im reflectirten Lichte einer Weingeistlampe im dunkeln Zimmer betrachtet. Die Flamme muss man durch Kochsalz, das man auf den Docht streut, homogen gelb färben. Auch auf einer Seifenblase erscheint das reflectirte Bild der Flamme bald heller, bald dunkler. 3) Folgt daraus, dass bei der Berührung einer Linse und eines ebenen Glases (Fig. 345) da, wo in gleichen Abständen von der Mitte *o*, Zwischenräume wie *mn* von allen möglichen Vielfachen einer Viertels-Wellenlänge entstehen, sich helle und dunkle Ringe, wie die oben beschriebenen, bilden müssen.

Da der Durchmesser lm eines solchen Ringes sich mit grosser Genauigkeit messen lässt, wie *Newton* durch sein Beispiel bewiesen hat, und der Radius der Linse aom bekannt ist, so lässt sich die Grösse des Zwischenraums mn genau durch Rechnung finden. Da er aber bei dem ersten hellen Ringe mn ein Viertheil einer Wellenlänge, bei dem zweiten drei Viertheile, beim dritten fünf Viertheile u. s. w. beträgt, so sieht man auch, wie es möglich war, die im §. 210 angegebene Länge einer Welle rothen Lichtes zu berechnen.

Nennt man in Fig. 345 den Durchmesser des Kreises, wovon aom ein Abschnitt ist, $2r$, und setzt man $mn = ho = x$ und $hm = y$, so ist $y^2 = x \cdot (2r - x)$, oder $y^2 = 2rx - x^2$. Da nun aber x sehr klein ist, so verschwindet x^2 gegen $2rx$, also ist ohne Fehler $y^2 = 2rx$. Die Quadrate der Halbmesser der farbigen und dunkeln Ringe verhalten sich also wie die Grössen von mn. Da sich nun diese letzteren für die hellen Ringe verhalten müssen, wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 ...., so verhalten sich auch die Quadrate der Halbmesser dieser Ringe wie die ungeraden Zahlen. Findet man z. B., dass im rothen Lichte bei einer Linse, deren Radius $r = 120$ Millimeter ist, der Durchmesser des fünften Ringes 1,264 Millimeter beträgt, so ist $y = 0{,}632$, und da $x = \frac{y^2}{2r}$, so ist $x = \frac{0{,}390}{240} = 0{,}00166$. Da aber im fünften Farbenringe $x = \frac{9l}{4}$, so ist $\frac{9l}{4} = 0{,}00166$, also $l = 0{,}000739$ Millimeter. Um diese Ringe objectiv darzustellen, kann man zwei Linsen an einander pressen und an einem Sonnenmikroscope befestigen; das von ihnen entstehende Bild wird an einer weissen Wand aufgefangen. Um sie genau zu messen, kann man sich eines gewöhnlichen Mikroscopes mit einem Mikrometer bedienen. Braucht man in den obigen Versuchen violettes Licht statt des rothen oder gelben, so werden die Ringe kleiner, weil die Wellen kleiner sind; bringt man zwischen die beiden Gläser Wasser, Oel u. dergl., so werden sie ebenfalls kleiner, und zwar in dem Verhältnisse, nach welchem die Wellen, der Brechung gemäss, im Wasser oder im Oel kleiner sind, als in der Luft.

Bei dem Versuch in Fig. 345, wo sich die Gläser nur in der Mitte berühren, ist der übrige Zwischenraum mit Luft ausgefüllt, und es sind dann zwei Fälle zu unterscheiden: 1) Wenn das convexe Glas nicht an das Planglas angedrückt ist und 2) wenn eine Pressung der Linse auf dasselbe stattfindet. Im ersten Fall wird noch bei o Licht reflectirt, es erleidet aber jene Verzögerung von $\frac{l}{2}$ nicht, weil sich unter o keine Luft befindet; die Mitte erscheint darum hell. In dem Abstand on von o wird das von m reflectirte Licht um $\frac{l}{2}$ und das von n reflectirte um den Hin- und Herweg, also um $2mn$ verzögert. Der relative Wegunterschied beider ist daher $2mn - \frac{l}{2}$. Ist daher

$mn = \frac{l}{4}$, so ist der Wegunterschied $= o$ und der Ring hell

$mn = \frac{2l}{4}$, „ „ „ „ $= \frac{l}{2}$ „ „ „ dunkel

$mn = \frac{3l}{4}$, „ „ „ „ $= l$ „ „ „ hell

$mn = \frac{4l}{4}$, „ „ „ „ $= \frac{3l}{2}$ „ „ „ dunkel.

Da sich nun die Werthe von mn für die hellen Ringe verhalten wie $\frac{1}{4} : \frac{3}{4} : \frac{5}{4}$, so verhalten sich nach dem Obigen die Quadrate ihrer Halbmesser wie die ungeraden Zahlen und für die dunkeln wie die geraden Zahlen. Findet aber eine Pressung statt, so erscheint, wie *Wilde* gezeigt hat, die Mitte dunkel, weil nun an ihr keine Reflexion mehr stattfindet, indem das obere und untere Glas eine einzige Masse bildet. Dieser dunkle Fleck wird auch um so grösser, je stärker man drückt. Auch

beim Andrücken eines ebenen Glasprisma's an einer schwarzen Glasplatte entstehen auf obige Art Interferenzstreifen, wie *Airy* gezeigt hat.

§. 256.

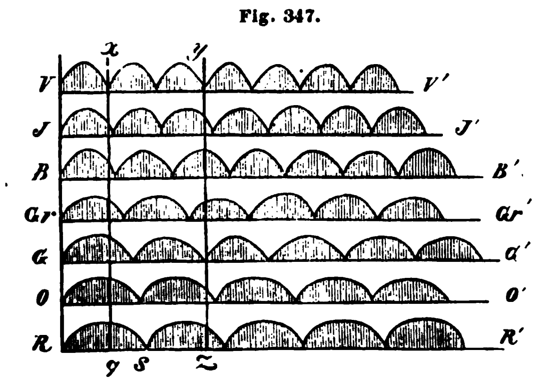
Im Sonnenlichte müssen, vermöge der verschiedenen Wellenlängen seiner einzelnen Theile, eben so viele Systeme von Ringen entstehen, als es Farben gibt; diese fallen zum Theile auf einander, und bringen dadurch gemischte Farben hervor. Da man nun im Stande ist, die Länge jeder einzelnen Welle zu bestimmen, so kann man auch angeben, welche Farben an einer gegebenen Stelle des Glases reflectirt werden müssen, und welche Mischung aus ihnen hervorgeht. Diese Rechnung ist angestellt worden und hat folgendes mit der Erfahrung übereinstimmende Resultat gegeben: Ring 1) Schwarz, blass Blau, glänzend Weiss, Gelb, Orange, Roth. 2) Dunkles Purpurroth, Blau, Grün, lebhaft Gelb, Carmoisinroth. 3) Dunkelblau, Blau, volles Grasgrün, schönes Gelb, Blassroth, Carmoisin. 4) Grün, blass Gelbroth, Roth. 5) Blass Blaugrün, Weiss, Blassroth. 6) Blass Blaugrün, Blassroth. 7) Sehr blass Blaugrün, sehr Blassroth. Die durchgehenden Farben ergänzen diese, der angegebenen Theorie gemäss, zu Weiss. In den folgenden Ringen, nach dem siebenten, sind die Farben für das Auge zu schwach.

Hieraus erklären sich nun die *Newton*'schen *Farbenringe*, die Farben dünner Fischschuppen, des Wassers und Weingeistes, die in dünnen Schichten eine dunkle Unterlage bedecken, eines Tropfen Oels auf Wasser, die farbigen Ringe in den Sprüngen der Krystalle, besonders des Kalkspathes und Gypses, der Seifenblasen, am besten aus Cocosseife, und dünn ausgeblasener Glaskugeln oder sehr dünner Häutchen, die man dadurch erhält, dass man eine Glasplatte mit einer Collodium-Auflösung sehr dünn bestreicht. Man kann hier zur Bestätigung des Gesagten die im §. 255 beschriebenen Versuche im Tages- oder Kerzenlichte wiederholen; reiner erhält man die Farben-Ordnungen mit dem schief gehaltenen Glase. Mit Hilfe der Centrifugalkraft habe ich sie auf eine überraschend schöne und einfache Weise hervorgebracht. In eine weisse Glasphiole von 2 bis 5 Zoll Durchmesser bringt man etwas Wasser und geschabte venetianische Seife. Das Wasser wird so lange erhitzt, bis die Wasserdämpfe die Luft grösstentheils oder ganz verdrängt haben. Sodann wird die Glasphiole sorgfältig durch einen Korkpfropfen geschlossen und zugekittet. Mit der im §. 109 beschriebenen Glycerinmischung werden die Ringe noch schöner, wenn die Flasche mittelst der Luftpumpe evacuirt ist. Auf dem Pfropfen wird ein starker 2 bis 3' langer Faden so befestigt, dass die Kugel daran aufgehängt werden kann, und ihr Mittelpunkt vertikal unter dem Aufhängungspunkt und der Mitte des Pfropfen zu liegen kommt. Durch Schütteln erzeugt man nun ein oder mehrere Häutchen von Seifenbrühe, welche die Kugel quer durchziehen müssen. Dreht man jetzt die Kugel, während sie am Faden hängt, rasch um diese Achse, so stellen sich jene Häutchen vermöge der Centrifugalkraft senkrecht zu ihr, und werden, weil die Seifenbrühe sich an den Rand zieht, in der Mitte immer dünner. Es erscheinen darum immer glänzendere und schönere farbige Ringe, deren Centrum in der Drehungsachse liegt. Zuletzt bildet sich in der Mitte ein vollkommen scharf begränzter dunkler Kreis, umgeben von den Farbenringen der

ersten Ordnung. Da wo dieser dunkle Kreis erscheint, hat das Häutchen die geringste Dicke, und da er scharf begränzt ist, so besteht er wahrscheinlich aus einer einfachen Schichte neben einander liegender Atome. Nach *v. d. Willigen* entsteht er durch die Trennung einer Schichte Fettsäure von der wässerigen Seifenlösung. Die folgenden Ringe sind nicht so scharf begränzt, weil die Uebereinanderlagerung der Atome der zweiten, dritten Schichte auf die erste, auf verschiedene Arten geschehen kann. In dem Augenblick, in welchem die Drehung aufgehalten wird, fliessen alle Schichten wieder durch einander; überlässt man aber nun die Kugel sich selbst, so geräth sie durch das Aufdrehen des gewundenen Fadens allmälig in die entgegengesetzte Drehung, und die Farbenringe erscheinen nach und nach wieder mit noch grösserer Regelmässigkeit. Da die Ordnung, in welcher die oben beschriebenen Farben auf einander folgen, immer dieselbe ist, so kann man auch aus der reflectirten Farbe eines Plättchens die Dicke desselben berechnen.

Trägt man, wie in Fig. 347, auf die Linien VV', JJ' u. s. w. der Ordnung nach die relative Länge der violetten, indigoblauen, blauen, grünen, gelben, orangegelben und rothen Wellen, welche durch die Zahlen 146, 158, 179, 203, 219, 235, 246 ausgedrückt werden können, mit einem Maassstabe auf, so dass z. B. $Vx = 146$ und $Rs = 246$ ist, und zeichnet man über jede Wellenlänge nach §. 150 ihre Intensitätskurve, wobei für jede Lichtart die im §. 244 angegebene Lichtstärke als die Höhe des Wellenbergs zu Grunde gelegt wird, so findet man, welche Mischung der Farben an jeder Stelle, z. B. in xq, stattfindet. An diesem Orte xq ist offenbar Roth und Orange vorherrschend, und Violett verschwindend. Da nun ein Plättchen, dessen Dicke der halben Länge einer violetten Welle gleich ist, kein violettes Licht zurückwirft, wohl aber das rothe zurückwerfen muss, weil die halbe Länge einer violetten Welle ohngefähr der vierte Theil einer rothen Welle ist, so drückt die Linie xq auch aus, welcher Antheil vom Roth und ebenso vom Orange durch dieses Plättchen zurückgeworfen wird. Auf gleiche Art muss z. B. in yz das Violett zum drittenmale verschwinden. Hat daher ein Plättchen die Dicke von drei halben Wellenlängen des violetten Lichtes, so muss im reflectirten Lichte *die* Farbe entstehen, welche durch Mischung der in der Linie yz mittelst der Höhe der Wellenberge ausgedrückten Intensitäten der noch übrigen Farben gebildet wird. Auf dieselbe Art entstehen die farbigen Streifen bei den im §. 254 beschriebenen Interferenz-Versuchen, wenn sie im Tageslichte angestellt werden.

Fig. 347.



Die Dünnheit der Plättchen ist eine nothwendige Bedingung zum Erscheinen ihrer Färbung, indem die Interferenz bei weissem Lichte aus theoretischen Gründen nur bei einem kleinen Gangunterschiede sichtbar sein kann. Einen Beweis gibt folgender Versuch von *Wrede:* Ein Stück eines dünnen Glimmerplättchens wird in die Gestalt eines Cylinders gebogen. Hält man es nun so, dass es die Flamme eines Kerzenlichtes oder das von einem metallenen Spiegelchen reflectirte Sonnenbild zurückwirft, so erscheint dieses als eine zarte leuchtende Linie. Das reflectirte Licht kommt theils von der Vorderseite, theils von der Hinterseite, und der letzte Theil muss daher um so mehr verzögert sein, je dicker das Glimmerplättchen ist. Desshalb erscheint das reflectirte Licht bei sehr dünnen Plättchen gefärbt, bei dicken Plättchen weiss. Zerfällt man es aber im letztern Falle durch ein Prisma und

betrachtet man das Spectrum durch ein Fernrohr, so erscheint dieses erfüllt mit schwarzen Strichen, deren Anzahl mit der Dicke des Glimmerplättchens zunimmt. Bildet das Glimmerplättchen die Vorderseite eines hohlen Cylinders und giesst man in diesen eine Flüssigkeit, die gleiches Brechungsvermögen mit dem Glimmer hat, so hört die Reflexion der Rückseite auf und die schwarzen Striche verschwinden. Dauernd kann man die Farbenerscheinungen dünner Blasen nach *Böttger* darstellen, wenn man 8 Theile Colophonium mit einem Theil Leinöl zusammenschmilzt und bei 96 bis 98° Wärme Kugeln daraus bläst. Wenn man zwei sehr ebene Glasplatten, deren eine ringsum einen Zoll breit vergoldet ist, in der Mitte zusammendrückt, so erhält man sehr schöne *Newton*'sche Farbenringe; ebenso durch Schütteln von Seifenbrühe in einer durch Sieden luftleer gemachten Phiole.

§. 257.

In die Klasse der Interferenz-Erscheinungen gehören auch mehrere, sonst der Absorption im Allgemeinen zugeschriebene Lichterscheinungen. *Wrede* hat diess in dem so eben angeführten Falle mit dem gebogenen Glimmerplättchen nachgewiesen. Die Untersuchungen von *H. Erman* lassen darüber vollends keinen Zweifel. Indem er die Wellenlänge der Strahlen, welche nach dem Durchgang des weissen Lichtes durch Jod oder Bromdämpfe (vergl. §. 250) in dem Spectrum fehlen, genau bestimmte, machte er es wahrscheinlich, dass sie durch die Interferenz zweier Wellensysteme entstehen können, in welche der durchgehende Lichtstrahl zerfällt. Das erste Wellensystem ist das direct durchgehende, das zweite entsteht durch die zweimalige innere Reflexion an den Gränzen der Gasschichte. Zur Unterstützung dieser Ansicht stellte er noch folgende Versuche an. Er nahm Glimmerplättchen von sehr geringer, aber verschiedener Dicke, und liess durch einen engen Spalt Tageslicht in senkrechter Richtung darauf fallen. Das durchgehende Licht zerlegte er, wie bei der Beobachtung der *Fraunhofer*'schen Linien mit Hilfe des Prisma und des Fernrohrs. Da hier zwei Wellensysteme auftreten, das directe und das durch zweimalige senkrechte Reflexion entstandene (vergleiche §. 255), so müssen diese interferiren. Dadurch verschwinden gewisse Strahlen in nahe gleichen, gegen das Violett aber immer breiter werdenden Zwischenräumen. Bei dickern Plättchen stehen sie dichter, bei dünnern weniger dicht beisammen.

Bezeichnet man die Dicke des oben erwähnten Glimmerplättchens durch d, so ist das zweite System gegen das directe verzögert um $2d$. Ist nun die Geschwindigkeit des Lichtes im Glimmer $= v'$, so durchläuft es den Raum $2d$ in der Zeit $t = \frac{2d}{v'}$. In derselben Zeit würde aber das Licht in der Luft den Raum vt zurücklegen, wenn seine Geschwindigkeit in ihr $= v$ ist. Das zweite System ist also in der Luft gegen das erste um den Weg

$$vt = \frac{2d}{v'} \cdot v$$

zurück. Da aber $\frac{v}{v'}$ das Brechungsverhältniss n ist, so beträgt der Gangunterschied beider Systeme $= 2dn$. Bezeichnet man aber durch $l, l', l'' \ldots$ die verschiedenen Wellenlängen der einfachen Lichtarten, und durch $n, n', n'' \ldots$ die dazu gehörigen Brechungsverhältnisse, so verschwindet ein beliebiger Lichtstrahl, dessen Wellenlänge l ist, wenn $\frac{2dn}{l/2}$ oder $\frac{4dn}{l}$ vollkommen oder nahezu eine ganze und ungerade Zahl ist. Ebenso verschwindet das Licht von der Wellenlänge l', wenn $\frac{4dn'}{l'}$ eine solche Zahl ist. Vom Roth bis zum Violett sind aber unendlich viele l von ver-

schiedener Länge, und der Fall, dass $\frac{4dn}{l}$ eine ungerade ganze Zahl gibt, muss darum sehr oft eintreten, auch tritt er offenbar um so öfter ein, je grösser d ist. Darum stehen in dickern Plättchen die dunkeln Linien dichter beisammen als in dünnen. In Plättchen von einiger Dicke sind sie so dicht, dass man sie nicht mehr unterscheiden kann. Das weisse Licht, welches durch diese geht, besteht also aus allen möglichen Lichtarten mit Lücken in allen Theilen des Spectrums. Die Abstände zwischen je zwei dunkeln Linien hängen davon ab, wie oft der Ausdruck $\frac{4dn}{l}$ eine ungerade ganze Zahl wird. Berücksichtigt man das gegenseitige Verhältniss zwischen n und l, n' und l', wie *Erman* es gethan, so ergibt sich, dass diese Zwischenräume im Violett breiter sein müssen als im Roth, wie es die Erfahrung lehrt. Bei den Dämpfen der Untersalpetersäure (vgl. §. 250) rühren die dunkeln Linien wahrscheinlich von drei sich interferirenden Wellensystemen her, indem auch im Jod- und Brom-Dampf bei einer gewissen Temperatur und Dichte sich Spuren eines dritten Systemes zeigen.

Eine ähnliche Interferenz-Erscheinuug ist das von *Talbot* beobachtete Phänomen. Betrachtet man ein Spectrum im Fernrohr und schiebt man ein dünnes Plättchen Glas oder Glimmer von der Seite des Violett her vor die halbe Pupille, so erscheint das Spectrum in regelmässige helle und dunkle Streifen getheilt, welche den Fraunhofer'schen Linien parallel sind. Die Zahl dieser dunkeln Linien wächst mit der Dicke des Plättchens. Bedeckt das Plättchen die Hälfte der Pupille, nach deren Seite das Roth des Spectrums liegt, so erscheinen jene Streifen nicht. Die Erscheinung der Streifen ist eine Folge der Interferenz der direct in das Auge gelangenden Strahlen, mit den beim Durchgang durch das Plättchen verzögerten Strahlen; das Nichterscheinen derselben im zweiten Fall aber hat *Airy* dadurch erklärt, dass hier die Beugung an den Rändern der Pupille die Streifen aufhebt. Ist die Zahl dieser Streifen zwischen der Fraunhofer'schen Linie F und der Linie G z. B. $= p$, und die Wellenlänge bei $F = \lambda$, das Brechungsverhältniss, in dem Material, aus welchem das Plättchen besteht, bei $F = n$, und das bei $G = n'$, ferner die Dicke des Plättchens $= a$, so ist die Wellenlänge bei G oder $\lambda' = \frac{n, - 1}{\frac{1}{a} p + \frac{n - 1}{\lambda}}$. Man kann also durch Messung der Brechungs-Verhältnisse und durch Zählung der Talbot'schen Streifen von einer Fraunhofer'schen Linie zur andern, aus der Wellenlänge der Farbe bei *einer* Fraunhofer'schen Linie alle andern berechnen. Diess ist die von *Esselbach* angewendete Methode bei den im §. 248 angegebenen Messungen.

Der folgende Versuch von *Baden Powell* beruht ebenfalls auf dem Gang-Unterschied zweier Lichtstrahlen: In ein Hohlprisma von Glas, Fig. 348, mit Sassafras-, Anis oder Cassiaöl gefüllt, welche das Licht stärker brechen als Glas, taucht man einen Glasstreifen zum Theil ein. Lässt man nun einen Lichtbüschel darauf fallen, welcher mittelst des Heliostats vorher durch einen mit der Brechungskante des Prisma's parallelen Spalt geleitet worden ist, so zeigt das entstehende Spectrum eine Anzahl schwarzer Bänder, welche von der Interferenz der durch das Oel und der durch den Glasstreifen gegangenen Strahlen herrühren. Wendet man Terpentinöl oder Wasser an, welche das Licht schwächer brechen als Glas, so muss der Glasstreifen wie in der zweiten Stellung von Figur 348 eingetaucht sein, um ähnliche Bänder zu erhalten.

Fig. 348.



§. 258.

Nach der bereits im §. 170 gegebenen Erklärung von der *Beugung* der Wellen findet auch eine Fortpflanzung derselben zur Seite der Oeffnung statt, durch welche sie gegangen sind, indem jedes Aethertheilchen

in der letztern als der Mittelpunkt neuer Wellen betrachtet werden kann. Nimmt man nun an, *ab*, Fig. 349, sei eine Oeffnung und *ac* die Richtung der direct vom leuchtenden Körper kommenden Lichtwellen, welche in dem Lichtbündel *acbd* fortschreiten; die Entfernung des Körpers sei so gross, dass man *ac* und *bd* für parallel ansehen kann, und sein Licht sei homogen; ferner sei *af* die Richtung eines der nach allen Seiten von der Oeffnung fortgehenden oder *gebeugten* Lichtbündels, welcher mit dem directen Lichte den Winkel *x* bildet; zieht man nun *bg* senkrecht zu *af*, so ist *ag* der Unterschied des Weges, welchen die parallelen Randstrahlen *af* und *bh* bis zu dem Auge, in irgend einer Entfernung, zu machen haben. Um die Wirkung des zur Seite der Oeffnung fortgehenden Lichtes auf das Auge zu erfahren, muss man wissen, dass jeder Lichtbüschel, der aus parallelen Strahlen besteht, durch die Convexität des Auges, wie durch eine Linse, in einem einzigen Punkte der Netzhaut, einer Fortsetzung des Sehnerves, vereinigt wird. Das Aethertheilchen, welches sich in jenem Punkte befindet, erhält dadurch eine Geschwindigkeit, welche der Anzahl aller Lichtstrahlen in diesem Büschel proportional ist, und da die Stärke des Licht-Eindruckes mit dem Quadrate dieser Geschwindigkeit zunimmt, so wird also die Lichtstärke $^1/_9$, $^1/_{25}$, $^1/_{49}$ ...., wenn die Geschwindigkeit $^1/_3$, $^1/_5$, $^1/_7$ .... ist.

Fig. 349.



Beträgt nun *ag*, Fig. 350, oder der Gangunterschied der Randstrahlen *af* und *bh eine* halbe Wellenlänge, und nimmt man an, die sehr kleine Oeffnung *ab* sei z. B. in zwölf gleiche Theile getheilt, so heben sich zwar die Wirkungen der Randstrahlen *af* und *bh* im Auge auf; es bleibt aber noch die Wirkung der dazwischen liegenden Strahlen, welche eine Geschwindigkeit in dem an der Netzhaut getroffenen Aethertheilchen hervorbringen, die wir gleich 1 annehmen wollen.

Fig. 350.



Beträgt der Gangunterschied der Randstrahlen oder *ag zwei* halbe Wellenlängen, so beträgt der von den Strahlen in 6 und *b* nur eine halbe Wellenlänge; ebenso der von 5 und 11, von 4 und 10, von 3 und 9 u. s. w. Die Wirkung Aller ist also gleich Null.

Ist der Unterschied des Weges der äussersten Lichtstrahlen oder *ag drei* halben Wellenlängen gleich, so ist er für 8 und *b* einer halben, und für 4 und *b* zwei halben Wellenlängen gleich. Die Wirkung der zwischen 4 und *b* befindlichen Lichtstrahlen hebt sich also auf, wie vorhin, und es bleibt nur noch die der Lichtstrahlen zwischen 4 und *a* übrig. Da diese nur den dritten Theil Aller ausmachen, so ist die Geschwindigkeit des nach ihrer Vereinigung getroffenen Aethertheilchens $^1/_3$, oder ihre Lichtstärke $^1/_9$.

Ist *ag vier* halben Wellenlängen gleich, so ist der Gangunterschied

zwischen 6 und b gleich *einer* Wellenlänge, und der zwischen 6 und a eben so gross. Die Wirkung Aller ist also wieder Null.

Wenn ag *fünf* halben Wellenlängen gleich ist, so hebt sich wieder die Wirkung von vier Theilen des Lichtsbündels auf, und es bleibt nur noch $1/5$, dessen Lichtstärke gleich $1/25$ ist u. s. w.

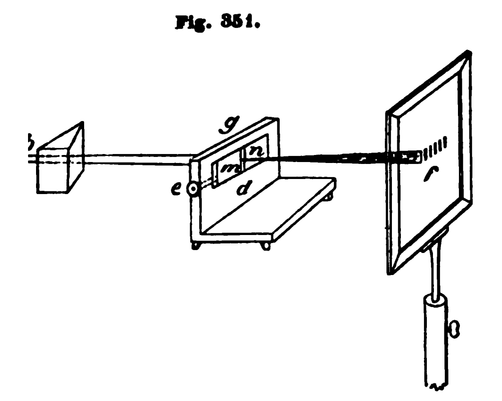
Wenn also der Gangunterschied der Randstrahlen 1, 3, 5, 7....... halben Wellenlängen gleich ist, so ist die Wirkung gleich 1, $1/9$, $1/25$, $1/49$ .... und wenn er 2, 4, 6, 8 ... halben Wellenlängen gleich ist, so ist die Wirkung immer gleich Null.

Aus dem Obigen ist ersichtlich, dass wenn in Fig. 349 der Durchmesser fh des gebeugten Strahlenbüschels nicht grösser als die Pupille des Auges ist, alle in ihm enthaltenen Strahlen in dasselbe gelangen. Beträgt alsdann ag 1, 3, 5 .... halbe Wellenlängen, so gelangt das Licht wirklich um die Ecke in's Auge, man sieht um die Ecke. Ist ag gleich 2, 4, 6 ... halben Wellenlängen, so sieht man nichts. Um nichts zu sehen, muss ag also wenigstens zwei halbe Wellenlängen betragen. Je enger ab ist, desto grösser muss der Winkel x werden, bis $ag = \frac{2l}{2}$. Würde ab selbst $= \frac{2l}{2}$, so könnte ag nie gleich $\frac{2l}{2}$ werden, und bei einer so engen Oeffnung gibt es darum gar keine Richtung, in welcher kein Licht um die Ecke gelangt, aber es ist auch sehr schwach. Ebenso wenig ist diess der Fall, wenn ab noch kleiner ist, als $\frac{2l}{2}$. Unser Gehörgang hat nun einen Durchmesser, der kleiner ist als die Schallwelle des höchsten musikalischen Tones; denn diese hat nach §. 183 und 185 die Länge von $\frac{1024}{8192}$ Par. Fuss oder $1\frac{1}{2}$ Zoll. Der gebeugte oder um die Ecke gegangene Schall kann sich also, wenn er nur vom Gehörgang aufgefangen wird, nie zu Null interferiren, oder wir *müssen* in jeder Richtung um die Ecke hören. Tiefe Töne hört man besser um die Ecke als hohe, weil ihre Wellenlänge grösser ist.

§. 259.

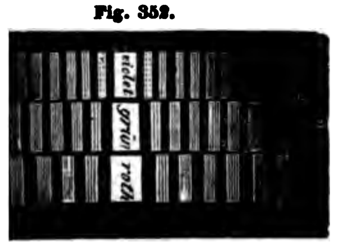
Aus dem vorhergehenden §. folgt, dass wenn man durch eine vertikale enge Spalte auf einen von homogenem Lichte glänzenden Körper sieht, rechts und links Spectra von derselben Farbe erscheinen müssen, welche in gleichen Abständen durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt sind, und deren Lichtstärke in dem oben angegebenen Verhältnisse sehr schnell abnimmt. Am besten nimmt man diese Erscheinung wahr, wenn man in ein Stanniolblättchen eine feine Ritze schneidet, und nachdem man es vor dem Objectivglase eines Fernrohres befestigt hat, dieses auf einen in der Sonne glänzenden Metallknopf oder ein innen geschwärztes Uhrglas richtet. Zwischen dem Auge und dem Fernrohre bringt man, um homogenes Licht zu erhalten, ein rothes, violettes oder ein anders gefärbtes Glas an. Das Fernrohr muss so weit von dem reflectirenden Körper entfernt sein, dass man diesen deutlich dadurch sehen kann, ehe sein Objectivglas von dem Stanniolblättchen bedeckt ist. Um mehrere Beugungs-Erscheinungen beobachten zu können, lässt man sich einen hölzernen Ring, der über das Ende des Fernrohrs passt, verfertigen, und befestigt daran die verschiedenen Scheibchen, in welche die Oeffnungen geschnitten sind. Um den obigen Versuch objectiv darzustellen, leitet man mittelst eines Heliostats einen Lichtstrahl ab, Figur 351, auf ein Prisma b. In der Richtung, in welcher das Farbenspectrum erscheint, stellt man das Gestell d auf, an welchem sich durch

Fig. 351.



zwei in einer Ebene liegende Metallplatten *m* und *n*, mit Hilfe der Schraube *e* eine beliebig feine Spalte *gd* erzeugen lässt. Geht nun durch diese z. B. ein rother Strahl des Spectrums, und stellt man in einen Abstand von 6 bis 10 Fuss einen Schirm *f* von Strohpapier auf, so zeigen sich die hellen und dunkeln Striche in gewissen Abständen von einander, wie in der Fig. 352 unten. Leitet man grünes Licht auf den Spalt, so rücken die hellen und dunkeln Räume näher zusammen, im violetten Lichte sind ihre Zwischenräume am engsten. Obschon hier die hellen und dunkeln Stellen nicht von der Interferenz vollkommen paralleler Strahlen herrühren können, so ist doch leicht einzusehen, dass die von den

Fig. 352.



‑n herrührenden und in einem Punkte des Schirms zusammentref‑ Strahlen bei der Kleinheit des Durchmessers der Oeffnung nahezu ‑l sind.

§. 260.

‑ach der im Vorhergehenden gegebenen Erklärung der Beugungs‑inungen müssen für kleinere Lichtwellen die farbigen und dunkeln näher an der Mitte des Spectrums liegen, und in der That ist ‑m violetten Lichte der Abstand der hellen und der dunkeln Stellen ‑er Mitte nur ohngefähr halb so gross, als beim rothen. Wenn ‑nfallende Licht aus farbigen Strahlen, wie das Tageslicht, zusam‑setzt ist, so erzeugt jede einzelne Farbe ein anderes Spectrum. bestehen diese Spectra aus zusammengesetztem Lichte, und da die hellen Stellen des violetten mit den dunkeln des rothen zu‑mfallen können, so wird nun keine Stelle vollkommen schwarz er‑en. Denkt man sich statt der drei Spectra in der vorigen Figur ‑le Spectra, als es verschiedene Farben im Tageslichte gibt, und man sich vor, sie seien alle über einander gelegt, so erhält man ‑eugungs-Spectrum im weissen Licht. Es ist leicht einzusehen, die Ordnung der Farben von der Mitte nach aussen ganz dieselbe ‑uss, wie bei den Newton'schen Farbenringen in §. 256.

‑Wenn der Gangunterschied der Randstrahlen Null ist, wie bei dem einfallenden Lichte, so ist die Wirkung aller Strahlen natürlich ‑r, und da die Wirkung des Strahlenbüschels, dessen Randstrahlen ‑angunterschied von *einer* halben Wellenlänge haben, gleich 1 ge‑wurde, so wird das mittelste hellste Spectrum noch um diesen

Strahlenbüschel breiter. Erst wo der Gangunterschied der Randstrahlen zwei halben Wellenlängen gleich ist, entsteht die erste dunkle Stelle, und da diess auf der andern Seite von der Mitte ebenso ist, so hat das mittelste hellste Spectrum die doppelte Breite der übrigen.

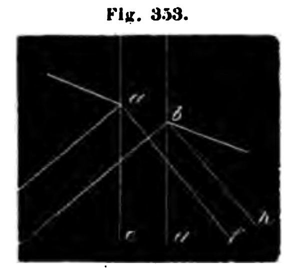
Da in Fig. 349 $\frac{ag}{ab} = \sin x$, so ist also der Licht-Eindruck = Null, wenn $ag = l, 2l, 3l \ldots$ ist, oder wenn $\sin x = \frac{l}{ab}, \frac{2l}{ab}, \frac{3l}{ab} \ldots$ Daraus sieht man, dass x oder der Beugungswinkel, also auch die Breite des Spectrums um so grösser wird, je grösser l, das heisst die Lichtwelle, oder je kleiner ab, das heisst die Oeffnung, ist. Ist aber ab sehr gross, so verschwinden die entstehenden Spectra in der Nähe der Oeffnung wegen ihrer Kleinheit, und in der Ferne wegen ihrer geringen Lichtstärke, und desshalb glaubt man, das Licht gehe nur nach gerader Linie fort. Wenn die Oeffnung ab kleiner ist als l, so wird $\sin x$ grösser als 1, folglich unmöglich, oder das Spectrum wird bis zur nächsten dunkeln Stelle unendlich breit; da aber dadurch das Licht auch unendlich schwach wird, so ist begreiflich, wenn man in diesem Falle fast kein Licht zur Seite wahrnimmt.

Da man den Beugungswinkel x aus der Entfernung des Bildes von der Oeffnung und dem Abstande der dunkeln Stellen von der Mitte durch Rechnung leicht finden kann, und die Breite der Oeffnung oder ab bekannt ist, so kann man durch die Formel $l = ab \cdot \sin x$ die Länge einer jeden Welle bestimmen. Die auf diesem Wege erhaltenen Resultate stimmen mit den durch die farbigen Ringe *Newton's* erhaltenen vollkommen überein. Auch die Construction des farbigen Lichtes, welches in den verschiedenen Stellen des Spectrums bei der Beugung von weissem Sonnenlichte durch einen Spalt entsteht, kann ganz wie im §. 256, Anm., geschehen, und gibt dann ebenfalls ein mit der Erfahrung übereinstimmendes Resultat.

§. 261.

Wenn die Oeffnung ab, Fig. 353, nicht senkrecht zu dem einfallenden Lichte $acbd$ ist, so sieht man schon aus der Betrachtung dieser Figur, dass der Gangunterschied der rechts liegenden Randstrahlen viel grösser sein muss, als der von den links liegenden, und dass darum auf der linken Seite nicht nur mehrere, sondern auch breitere Spectra erscheinen müssen. Um diese Erscheinung deutlich zu sehen, nehme man ein kurzes Rohr, und bedecke die vordere und hintere Oeffnung desselben zur Hälfte durch Stanniolblättchen so, dass sie einen geradlinigten Spalt lassen, wenn man der Länge nach hindurch sieht. Dreht man dieses Rohr nun so, dass der lichte Zwischenraum beinahe verschwindet, so bemerkt man, dass, je enger der Spalt wird, desto breiter die Spectra auf der einen Seite, und desto schmaler auf der andern werden.

Fig. 353.



§. 262.

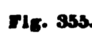
Wenn man die in den vorigen §§. erklärten Erscheinungen über die Beugung des Lichtes genauer betrachtet, so muss man auf den Gedanken gerathen, dass sich die Gestalt des Spectrums auch dann bestimmen lassen werde, wenn das Licht durch Oeffnungen von beliebiger Gestalt gegangen ist. *Fresnel*, *Herschel* und *Fraunhofer* haben sich zuerst mit dieser Aufgabe beschäftigt; in der Folge ist sie durch *Schwerd* und *Airy* vollständiger gelöst worden. Man ist durch ihre Untersuchungen

gen in den Stand gesetzt, diese Erscheinungen mit derselben Genauigkeit voraus zu bestimmen, wie die Bewegung der Himmelskörper, und die Undulations-Theorie hat dadurch einen so hohen Grad von Wahrscheinlichkeit erhalten, als irgend eine andere Hypothese. Folgende Beispiele mögen als Beleg zu den Behauptungen dienen: Ist $abcd$, Fig. 354, ein Parallelogramm, durch welches homogenes Licht senkrecht einfällt, so findet man, nach *Schwerd's* analytischen Untersuchungen, auf folgende Art die Gestalt des entstehenden Spectrums: Durch einen Punkt o ziehe


Fig. 354.



man die Linie yy senkrecht zur Seite ad, und die Linie xx senkrecht zu ab; trage auf yy die Seite ad von o an mehreremal links und rechts hin, und ziehe durch die erhaltenen Theilungspunkte Linien parallel mit xx; ebenso trage man auf xx die Linie ab so oft hin als man will, und ziehe durch die Theilungspunkte Linien parallel mit yy, so bezeichnen die gezogenen Linien mit Ausnahme von xx und yy die dunkeln Stellen, und die entstehenden Parallelogramme die hellen Stellen des Spectrums. An den mit 1, 3, 5, 7 bezeichneten Orten ist die Intensität des Lichtes gleich 1, $^1/_9$, $^1/_{25}$, $^1/_{49}$ ..., während sie in o gleich 2,4673 ist. An den mit g bezeichneten Stellen findet man sie z. B., wenn man die Intensität von 5 mit der von 3 multiplicirt, und sie ist also $^1/_{25}$. $^1/_9$ oder $^1/_{225}$, also nicht stärker als sie in dem mit 15 bezeichneten Parallelogramme sein würde. Daher verschwinden die zwischen dem Kreuze liegenden Parallelogramme, wenn die Intensität des einfallenden Lichtes nicht sehr gross ist.

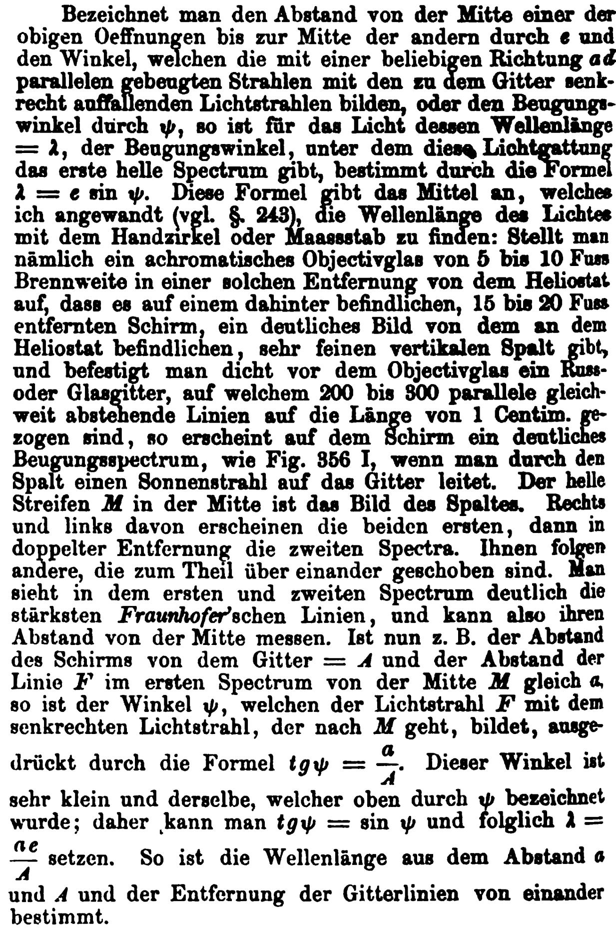

Fig. 355.



Befinden sich, wie in Fig. 355, bei a mehrere gleiche, parallele und gleichweit abstehende Oeffnungen neben einander, so wird jede für sich die Beugungs-Erscheinungen veranlassen. In jeder beliebigen Richtung ab oder ad gehen parallele und gebeugte Strahlenbüschel von den einzelnen Oeffnungen aus und jeder dieser Strahlenbüschel hat eine andere Intensität. Durch ein convexes Glas de oder durch das Auge

werden die unter sich und mit ab oder ad parallelen Strahlenbüschel in den Punkten n und m zu einem einzigen Bilde vereinigt, dessen Intensität von der Zahl der Oeffnungen und von dem Gangunterschied der einzelnen Büschel abhängt. Die bei m und n und in andern Punkten entstehenden hellen und dunkeln Bilder gewinnen dadurch an Lebhaftigkeit, indem die Intensitätsunterschiede grösser werden.

Fig. 356.



Bezeichnet man den Abstand von der Mitte einer der obigen Oeffnungen bis zur Mitte der andern durch e und den Winkel, welchen die mit einer beliebigen Richtung ad parallelen gebeugten Strahlen mit den zu dem Gitter senkrecht auffallenden Lichtstrahlen bilden, oder den Beugungswinkel durch ψ, so ist für das Licht dessen Wellenlänge $= \lambda$, der Beugungswinkel, unter dem diese Lichtgattung das erste helle Spectrum gibt, bestimmt durch die Formel $\lambda = e \sin \psi$. Diese Formel gibt das Mittel an, welches ich angewandt (vgl. §. 243), die Wellenlänge des Lichtes mit dem Handzirkel oder Maassstab zu finden: Stellt man nämlich ein achromatisches Objectivglas von 5 bis 10 Fuss Brennweite in einer solchen Entfernung von dem Heliostat auf, dass es auf einem dahinter befindlichen, 15 bis 20 Fuss entfernten Schirm, ein deutliches Bild von dem an dem Heliostat befindlichen, sehr feinen vertikalen Spalt gibt, und befestigt man dicht vor dem Objectivglas ein Russ- oder Glasgitter, auf welchem 200 bis 300 parallele gleichweit abstehende Linien auf die Länge von 1 Centim. gezogen sind, so erscheint auf dem Schirm ein deutliches Beugungsspectrum, wie Fig. 356 I, wenn man durch den Spalt einen Sonnenstrahl auf das Gitter leitet. Der helle Streifen M in der Mitte ist das Bild des Spaltes. Rechts und links davon erscheinen die beiden ersten, dann in doppelter Entfernung die zweiten Spectra. Ihnen folgen andere, die zum Theil über einander geschoben sind. Man sieht in dem ersten und zweiten Spectrum deutlich die stärksten *Fraunhofer*'schen Linien, und kann also ihren Abstand von der Mitte messen. Ist nun z. B. der Abstand des Schirms von dem Gitter $= A$ und der Abstand der Linie F im ersten Spectrum von der Mitte M gleich a, so ist der Winkel ψ, welchen der Lichtstrahl F mit dem senkrechten Lichtstrahl, der nach M geht, bildet, ausgedrückt durch die Formel $tg\psi = \frac{a}{A}$. Dieser Winkel ist sehr klein und derselbe, welcher oben durch ψ bezeichnet wurde; daher kann man $tg\psi = \sin \psi$ und folglich $\lambda = \frac{ae}{A}$ setzen. So ist die Wellenlänge aus dem Abstand a und A und der Entfernung der Gitterlinien von einander bestimmt.

Hält man auf den Schirm ein fluorescirendes Papier oder ein Lineal von Uranglas, so erscheint das Spectrum verlängert, wie in II, weil nun auch diejenigen Stellen sichtbar werden, auf welche die Strahlen kürzester Wellenlänge fallen. Wird photographisches Papier an dessen Stelle gebracht, so bildet sich das Spectrum bloss von der Linie G an bis zur äussersten Grenze der chemischen Strahlen, die in Fig. 330 mit R bezeichnet wurde, ab, beim Glase aber sich nur bis N erstreckt, weil dieses die Strahlen von N bis R nicht durchlässt. Stellt man dicht hinter das Objectivglas ein Prisma, dessen Länge senkrecht zu den Linien des Beugungsgitters ist, so werden

alle einzelnen Spectra zerstreut, und man erhält eine der schönsten und lehrreichsten Erscheinungen. Durch ein kleines Loch im Schirm kann man jeden Theil des Spectrums auch von den andern isoliren.

Will man das Spectrum, welches durch zwei parallele und gleiche Parallelogramme ac und fg in Fig. 354 entsteht, erhalten, so zeichnet man dieselbe Figur, wie oben, und zieht die Linie ee parallel mit af. Darauf sucht man die Höhe eines Parallelogrammes, welches af zur Grundlinie hat und halb so gross ist als $abcd$. Diese Höhe trägt man von o auf ee mehreremale hin, und errichtet in den Theilungspunkten 1, 3, 5, 7 .... senkrechte Linien zu ee, so erhält man die dunkeln Streifen, welche mit den vorigen das Spectrum bilden. Bei drei Parallelogrammen, die wie ac und gf neben einander liegen, bleibt Alles wie vorhin, nur sind die auf ee getragenen Theile der Höhe eines Parallelogrammes gleich, welches die Grundlinie af hat und der dritte Theil von $abcd$ ist, und die Senkrechten zu ee werden in den Theilungspunkten 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10 und 11 . . . errichtet. Bei vier, fünf und mehreren Parallelogrammen befolgt nun die Zeichnung Gesetze, welche man nach dem Vorhergegangenen von selbst finden kann.

Da die angegebenen Constructionen auch für ein und mehrere gleiche Quadrate, Rauten und Rechtecke in allen möglichen Stellungen gelten, wenn nur ihre Seiten parallel sind und ihre gleichliegenden Ecken auf einer geraden Linie sich befinden, so lassen sie schon sehr viele Anwendungen zu. Die Construction anderer Spectra für das Dreieck, den Kreis, das Sechseck u. s. w. würde hier zu weit führen, und man muss sie desshalb aus *Schwerd's* Werke über die Beugung selbst kennen lernen. Da die Anstellung der Versuche aber so leicht ist, und die Erscheinungen, die sie geben, zu den schönsten gehören, so wird auch hier noch auf die Betrachtung folgender aufmerksam gemacht: Das Spectrum durch eine oder mehrere Reihen von Dreiecken, Kreisen und einfachen Spalten, durch das sogenannte Stabgitter, welches durch parallele gleichdicke Drähte gebildet wird, die gleichweit von einander entfernt sind; das Parthiegitter von *Fraunhofer*, welches aus mehreren gleichen, aber ungleich von einander entfernten, rechtwinklichten Oeffnungen besteht, die zusammen eine Gruppe bilden, und sich in gleichen Entfernungen regelmässig wiederholen. Die prächtigen Erscheinungen, welche durch zwei unter einem beliebigen Winkel sich kreuzende Stabgitter hervorgebracht werden, und die minder schönen, aber verwandten Erscheinungen, welche man durch ein Stück Mousselin, Flor, Drahttuch oder Seidenband wahrnimmt. Das Spectrum des Schachbrettgitters, und des *Herschel'*schen Dreieckgitters, in welchem eine Anzahl gleicher Dreiecke eine dreiseitige Gruppe bildet, ferner die schönen Spectra, welche durch den Zwischenraum zweier concentrischen und ähnlichen Parallelogramme, Kreise und Quadrate entstehen. Selbst das herrliche Farbenspiel, welches man bei der Betrachtung eines glänzenden Punktes durch eine Vogelfeder bemerkt, ist vollständig erklärt.

Bei allen diesen Erscheinungen wurde homogenes Licht vorausgesetzt, welches nur von einem Punkte kommt. Im zusammengesetzten Lichte erzeugt jede Farbe ihr eigenes Bild; die rothen Spectra sind die grössten, die violetten die kleinsten, aber alle sind sich ähnlich. Wenn nur zwei Farben vorhanden sind, so erscheinen auch nur zweierlei Bilder, und diese sind durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt. Durch die Manchfaltigkeit der Farben werden die Spectra ausserordentlich schön, und man wird daher die obigen Versuche auch im Sonnenlichte anstellen. Die *Fraunhofer'*schen dunkeln Striche sieht man durch ein Gitter, welches aus 500 bis 1000 parallelen Linien auf den Zoll besteht, eben so vollkommen, als in dem früher beschriebenen Versuche, und es folgt daraus, dass sie nicht durch die Brechung erst entstehen, sondern fehlende Wellensysteme in dem Sonnenspectrum sind.

§. 263.

Bei der Reflexion des Lichtes von gestreiften aber spiegelnden Oberflächen oder von feinen Fasern erfolgt ein den Beugungs-Erscheinungen ähnliches Farbenspiel. Jeder schmale spiegelnde Streifen kann nämlich als eine feine Oeffnung angesehen werden, durch welche Licht von einer hinter ihr befindlichen Lichtquelle gegangen ist, weil das Licht ebenso reflectirt wird, als käme es von einem Punkt hinter der spiegelnden Fläche. Zwei oder mehrere parallele und enge Streifen, die man

im Sonnenlichte betrachtet, müssen daher, wenn man den Körper, in welchem sie angebracht sind, dreht, alle möglichen Farben wie ein Stabgitter zeigen. Hierauf beruht das schöne Farbenspiel der *Barton*'schen Irisknöpfe, fein getheilter Maassstäbe und der Perlmutter, deren geschliffene Oberfläche die natürlichen Flächen der Schichten, aus denen sie besteht, durchschneidet, und dadurch solche Furchen erzeugt. Ferner beruht darauf das Schillern matter Fensterscheiben, mancher Seidenzeuge, der Flügeldecken von Insekten u. dgl. mehr. Dass nur die Gestalt der Oberflächen Ursache dieser Farben ist, sieht man daran, dass sie auch entstehen, wenn man Perlmutter, Irisknöpfe u. s. w. in Wachs oder Siegellack abdrückt und dieses im Lichte betrachtet.

§. 264.

Wenn von mehreren leuchtenden Punkten Licht durch eine enge Oeffnung geht, so entstehen durch die Beugung desselben eben so viele Spectra. Die Lichtstärke an jeder einzelnen Stelle derselben, so wie ihre Gestalt, wenn sie zum Theile sich decken, lässt sich ebenfalls vollkommen genau nach der angegebenen Untersuchung bestimmen. Betrachtet man durch eine vertikale, rechtwinklichte Spalte zwei über einander liegende, leuchtende Punkte, indem man z. B. Sonnenlicht durch zwei Oeffnungen dringen lässt, so entstehen zwei Spectra, wie im §. 262, welche über einander liegen und sich zum Theile decken können. An denjenigen Stellen, an welchen das letztere geschieht, ist die Intensität des Lichtes die doppelte; nimmt aber in demselben Verhältnisse von der Mitte ab, wie in dem einfachen Spectrum. Ebenso ist es bei mehreren leuchtenden Punkten. Betrachtet man diese durch ein Stabgitter, so entstehen sehr schöne Erscheinungen. Liegen die leuchtenden Punkte in einer horizontalen Linie, so kann man das Spectrum einer einzigen Oeffnung durch zwei Zeichnungen erhalten, welche um den Abstand der leuchtenden Punkte von einander entfernt sind. Zwei Lichtlinien, die sich durchschneiden, und durch eine einzige oder durch mehrere Oeffnungen betrachtet werden, zeigen sehr schöne Erscheinungen.

Viele dieser Erscheinungen und mehrere der nachfolgenden kann man auf die im §. 262 Anmerkung angegebene Art mit Hilfe des Heliostats und eines Objectivglases auch auf einem Schirm projiciren.

Aus den angegebenen Beispielen erklären sich nun auch die Beugungs-Erscheinungen beim Vorübergange des Lichtes an scharfen Kanten und Drähten, welche zuerst *Grimaldi* beobachtet hat; die Farben an dem Rande des Mondes beim Vorübergange vor der Sonne, das Farbenspiel an Spinnweben und Haaren, welche man im hellen Lichte betrachtet, und die dunkeln Streifen, welche man wahrnimmt, wenn man durch die eng aneinander liegenden Finger auf ein Licht sieht. Auch die von *Herschel* entdeckten concentrischen Kreise, welche man wahrnimmt, wenn man mit einem stark vergrössernden Fernrohre einen hellen Stern durch eine enge, kreisförmige Oeffnung betrachtet, beruhen hierauf.

Aus der Beugung des Lichtes erklären sich nach *Fraunhofer* auch die Höfe um Sonne, Mond und grössere Sterne. Die kleinern Höfe hängen mit dem Körper, den sie umgeben, zusammen, sie haben bald grössere, bald kleinere Durchmesser und sind zuweilen auch aussen roth gefärbt. Indem die Lichtstrahlen an den Rändern der in der Luft schwebenden Dunstkügelchen vorbeigehen, verhalten sie sich

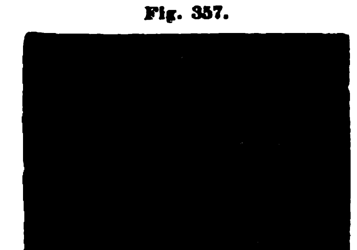
gerade so, als wenn sie durch Oeffnungen von gleichem Durchmesser geleitet würden. Je kleiner daher die Dunstkügelchen sind, desto stärker ist ihre Beugung und desto grösser der Durchmesser der Höfe. In gleichen Abständen von dem leuchtenden Körper muss es nun Dunstkügelchen geben, welche das Roth der ersten oder zweiten Ordnung in's Auge senden. Ebenso ist es mit den andern Farben. Sind die Dunstkügelchen vollkommen gleich, so müssen alle Ringe von gleicher Farbe sich verstärken; sind sie ungleich, so mischen sich die Farben, und die Höfe erscheinen farblos. *Fraunhofer* wiess diese Erscheinungen nach, indem er vor dem Objectivglase eines Fernrohrs eine Schichte sehr vieler, gleichgrosser Glaskügelchen anbrachte. Man kann die farbigen Höfe auf's Schönste sehen, wenn man eine Glasplatte, die ein wenig fett gemacht ist, mit Bärlappsamen bestreut, mit einer anderen Glasplatte bedeckt und nun zwischen das Auge und einen leuchtenden Körper hält. Ein anderes Mittel ist das *Stephanoscop* von *Dove*, welches darin besteht, dass man ein aus 1200 parallelen Linien auf den Zoll bestehendes Gitter rasch in seiner Ebene dreht. Indem man durch dasselbe auf einen hell erleuchteten Punkt hinsieht, zeigen sich 6 bis 8 rothe Ringe. Dass das Dasein der Dünste Veranlassung zu den Höfen gibt, sieht man daran, dass in Zimmern, deren Luft Dünste enthält, sich Höfe um die Lichter bilden, wenn auch im Freien sich keine zeigen. Auch bei ganz reiner Luft nimmt man Ringe um einen hellleuchtenden Lichtpunkt wahr. Diese haben ihren Grund wahrscheinlich ebenfalls in der Beugung durch ein von der Structur der Hornhaut gebildetes Netz. Nach *Wöhler* werden diese Ringe sehr auffallend, wenn man das Auge einige Augenblicke dem Dampf der Osmiumsäure ausgesetzt hat. Eine andere Ursache hat das Morgen- und Abendroth. Nach *Forbes* geht der undurchsichtige Wasserdampf der Luft nicht auf einmal aus dem Zustand der Unsichtbarkeit, in welchem er sogar die Durchsichtigkeit der Atmosphäre erhöht, in den eines weissen Nebels über, sondern er durchläuft einen Zwischenzustand, in welchem er dem durchgehenden Lichte eine Farbe von lohgelb bis zum intensiven Rauchroth ertheilt, wie man an dem Dampf, der aus der Dille eines Theekessels aufsteigt, sehen kann. Vergl. §. 249.

H. Doppelte Brechung und Polarisation des Lichtes.

§. 265.

In dem Abschnitte von dem farbigen Lichte ist gezeigt worden, wie durch den Unterschied der Geschwindigkeiten der farbigen Strahlen in einem Prisma eine Zerlegung des gewöhnlichen Lichtes in seine verschiedenen Farben erfolgt. Nach der Einleitung ist aber das Licht nicht bloss aus Wellen von verschiedener Länge zusammengesetzt, sondern die zur Fortpflanzung des Lichtes senkrechten Schwingungen der Aethertheilchen gehen auch nach allen möglichen Polarisationsrichtungen. Es entsteht nun die Frage, ob nicht auch eine Zerlegung dieser Aetherschwingungen in zwei bestimmte, etwa zu einander senkrechte Richtungen möglich sei. Nimmt man in Fig. 357 an, c sei der Punkt, in welchem ein zur Ebene des Papieres senkrecht einfallender Lichtstrahl dieses trifft, und ab die Richtung, in welcher das Aethertheilchen c hin- und herschwingt, so lässt sich diese Bewegung ac zerlegen in eine nach der Richtung ce gehende, und in eine dazu senkrechte Schwingung cd. Die erste oder ce lässt sich wieder zerlegen in eine Schwingung nach der Richtung cg, und in eine dazu senkrechte Schwingung cf; die Schwingung cd ebenso in ck und ch. Da-

Fig. 357.

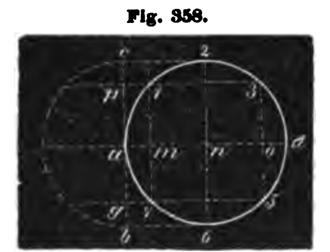


durch ist ac zerlegt in cg, cf, ck und ch. Die Schwingungen cg und ck erfolgen nach einerlei Richtung, die Schwingungen ch und cf aber nach entgegengesetzten. Der Einfluss der ersten wird daher als die Summe von beiden oder so angesehen werden müssen, als kämen sie von einer gemeinschaftlichen Quelle, oder als wäre der Ursprung der einen um 1, 2, 3, 4 .. Wellenlängen von dem der andern entfernt. Die Wirkung der letztern aber wird von ihrem Unterschiede abhängen, oder so angesehen werden müssen, als wäre der Ursprung der einen nur um $\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ . . . Wellenlängen von dem der andern verschieden. Da nun jede Schwingung von c, sie mag erfolgen nach welcher Richtung es auch sei, sich auf diese Art in eine Schwingung nach der Richtung ce und in eine dazu senkrechte zerlegen lässt, so kann man auch von dem gewöhnlichen Lichte, welches nach allen möglichen Richtungen polarisirt ist, sagen, es bestehe aus zwei polarisirten Strahlen, deren Aethertheilchen in Richtungen schwingen, welche zu einander senkrecht sind. Man nennt die Ebene, welche zu den Schwingungen eines polarisirten Strahles senkrecht ist, seine *Polarisations-Ebene*, und desshalb kann man auch von zwei senkrecht polarisirten Strahlen sagen, ihre Polarisations-Ebenen seien senkrecht zu einander. Man nennt solche Strahlen auch *entgegengesetzt polarisirt*, obschon leicht einzusehen ist, dass sie sich nicht aufheben können. Wird aber die ursprüngliche Schwingungsgeschwindigkeit eines Aethertheilchens c in zwei zu einander senkrechte Richtungen zerlegt, von denen die eine mit der ursprünglichen Schwingungsrichtung den Winkel x, und folglich die andere den Winkel $90^\circ - x$ bildet, so ist die Geschwindigkeit des Aethertheilchens nach der einen Richtung $= c \cos x$, und nach der andern $= c \sin x$. Da nun die Lichtstärke dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional ist, so muss sie nach der ersten Richtung $= c^2 \cos^2 x$, und nach der andern $= c^2 \sin^2 x$ sein. Die Summe dieser Wirkungen gibt wieder die ursprüngliche Stärke c^2, weil $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$ ist.

§. 266.

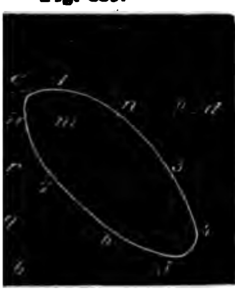
Wenn zwei geradlinigt-polarisirte Wellensysteme in Ebenen schwingen, die zu einander senkrecht sind, und ihr Gangunterschied ist nicht Null, oder nicht gleich einer ganzen Anzahl von Wellenlängen, so werden die Schwingungen nicht mehr geradlinigt, oder das Licht ist nicht mehr geradlinigt polarisirt, sondern es kann eine kreisförmige oder elliptische Bewegung der Aethertheilchen hervorgebracht werden. Wird z. B. das Aethertheilchen a, Fig. 358, durch das eine Wellensystem in der Richtung bc, durch das andere in der Richtung ad in Schwingungen versetzt, und ist das erste Wellensystem dem zweiten um eine Viertels-Wellenlänge voraus, so durchläuft es nach §. 154 die Punkte 1, 2, 3 d, 5 u. s. w., also die Peripherie eines Kreises. *Wenn also zwei zu einander senkrechte und sonst gleiche geradlinigt-polarisirte Wellensysteme, von denen das eine um eine Viertels-Wellenlänge dem andern voraus ist, auf ein Aethertheilchen wirken, so schwingt dieses kreisförmig.* In diesem Fall

Fig. 358.



ie Bewegung durch die Punkte 1, 2, 3 ... *rechts* gedreht. Ist las zweite Wellensystem dem ersten um eine Viertels-Wellenlänge ingen, so bewegt es sich von *b* durch 5, *d*, 3, 2, 1 nach *a*. Die ing des Aethertheilchens wäre also in diesem Falle *links* gedreht.

Fig. 359.



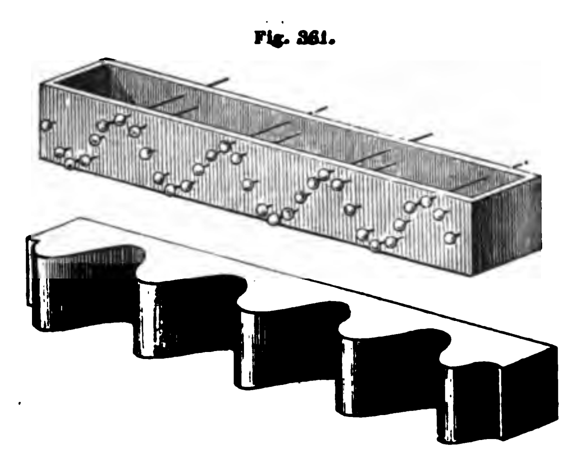
Ist die Intensität der beiden Wellensysteme nicht gleich, also z. B. *bc* kleiner als *ad*, so entsteht eine elliptische Bewegung. Ebenso wird bei zwei gleichen Wellensystemen *bc* und *ad*, Fig. 359, die Bewegung des Aethertheilchens *a eine elliptische*, *oder es entsteht elliptisch polarisirtes Licht, wenn der Phasenunterschied ein anderer ist als eine viertels oder halbe oder eine ganze Schwingungsdauer*, wie die nebenstehende Figur zeigt, in welcher der Phasenunterschied $\frac{1}{8}t$ beträgt. Vermöge des einen Systems ist *a* nach $\frac{1}{8}t$ in *c*, verles andern in *m*, vermöge beider also in 1; nach $\frac{2t}{8}$ ist es verdes ersten wieder in *a*, vermöge des zweiten in *n*, also durch n *n*; nach $\frac{3t}{8}$ vermöge des ersten in *r*, vermöge des zweiten Sy- in *o*, also in Folge beider in 3; ebenso nach $\frac{4t}{8}$ in 4, nach $\frac{5t}{8}$. s. w.

Bei dem Fortgang beider Wellensysteme werden nach und nach nter einander liegenden Aethertheilchen in kreisförmige oder ellip- Bewegung versetzt. Da aber das Aethertheilchen *a* schon einen seiner Bahn durchlaufen hat, bis das in der Richtung der Fortung des Lichtes, also in einer zum Papier der obigen Zeichnungen chten Richtung liegende nächste Theilchen seine Bewegung anso muss die Verbindungslinie aller in der Richtung eines solchen liegenden Aethertheilchen eine Schraubenlinie sein, wie aus der 60 besser ersichtlich ist. Stellt hier *al* die Richtung des kreisförmig oder elliptisch polarisirten Lichtstrahls vor, und hat das Aethertheilchen *a* in der Richtung des Pfeils schon die Peripherie des zu *al* senkrechten Kreises durchlaufen, so kann das Theilchen *p* einen solchen Abstand haben, dass seine Bewegung erst anfängt. Der Abstand *ap* ist dann eine Wellenlänge *l*. In dem nämlichen Augenblick hat das Theilchen *o*, dessen Abstand von $a = \frac{1}{2}l$ ist, erst $\frac{2}{4}$ seiner Bahn durchlaufen, und ist also in 2. Das Theilchen, dessen Abstand von $a = \frac{3}{4}l$ ist, hat erst $\frac{1}{4}$ seiner Bahn zurückgelegt, und ist also in 1. Das Theilchen *s* hat $\frac{3}{4}$ zurückgelegt, und ist 3 u. s. w., woraus sich die spiralförmige Gestalt ihrer gegenseitellungen ergibt.

Fig. 360.

urch nebenstehenden, von *Wheatstone* erfundenen Apparat, Fig. 361, wird ige, so wie die rechts und links gehende Drehung der Spirale zur An- g gebracht:

Fig. 361.



Auf ein Holzrähmchen von 50 bis 60 Centimeter Länge ist ein Wellensystem *A* gezeichnet, und diese Zeichnung senkrecht zu dem Rähmchen so durchbohrt, dass Stricknadeln auf beiden Seiten durchgesteckt werden können. Die Abstände dieser Stricknadeln und die Zeichnung des Wellensystems richtet sich nach der Zahl derselben und nach der in Figur 191, Seite 160, gelehrten Construction. Das gleiche Wellensystem *B* ist, wie der untere Theil der Figur 361 zeigt, auf zwei gleiche Brettchen getragen, die durch Querstücke an den Enden verbunden und dann nach der Wellenzeichnung ausgeschnitten sind. Ein dünner Riemen Zinkblech ist sodann über diese Ausschnitte gebogen und mit kleinen Stiften auf das Holz befestigt. Die Nadeln müssen auf der Rückseite des obern Kästchens wenigstens so weit hervorragen, dass der hervorstehende Theil so lang als der tiefste Einschnitt im untern Rähmchen ist. Auch müssen alle Nadeln gleiche Länge haben. An ihr vorderes Ende sind weisse Glasperlen gekittet. Damit diese besser in die Augen fallen, ist das Brettchen schwarz angestrichen. Stellt man nun das obere Rähmchen mit dem Wellensystem *A* auf einen ebenen Tisch, parallel vor das zweite mit dem Wellensystem *B* und drückt man es gegen dasselbe an, so werden durch die Wellenberge des Systems *B* die Nadeln des dazu senkrechten Systems *A* vorwärts geschoben und bilden eine kreisförmige Spirale, wenn der Scheitel eines Berges von dem System *A* mit der Mitte zwischen Berg und Thal in dem System *B* zusammenfällt oder wenn ihre Verschiebung eine, drei, fünf u. s. w. Viertelswellenlängen beträgt. Die Spirale heisst *rechts gedreht*, wenn die Windungen, indem man sie abwärts steigend verfolgt, wie die Zeiger einer Uhr herumlaufen und heisst *links gedreht*, wenn sie in entgegengesetzter Richtung hinabsteigen, oder die gleiche beim Hinaufsteigen haben. Bezeichnet man in dem System *A* die tiefste Stelle des ersten Theils durch a und ebenso in dem System *B* diese Stelle durch b, ferner die Länge einer Welle durch l, so entsteht ein unter 45° gegen beide Wellensysteme geneigtes ebenes Wellensystem, wenn a mit b zusammenfällt oder wenn a von b um $\frac{l}{2}$ rechts oder links liegt; liegt aber a von b um $\frac{l}{4}$ rechts, oder ist ihr Abstand $o + \frac{l}{4}$, so entsteht eine *rechts gedrehte* kreisförmige Spirale. Liegt a von b um $\frac{l}{4}$ links oder ist ihr Abstand $o - \frac{l}{4}$, so bildet sich eine *links gedrehte* kreisförmige Spirale. In allen andern, also unzähligen Fällen wird die *Spirale elliptisch*, und es ist nun leicht einzusehen, wann diese rechts oder links gedreht sein wird. Die Achse der kreisförmigen Spirale stellt den Lichtstrahl vor. Jedes Aethertheilchen beschreibt in einer zu ihm senkrechten Ebene einen Kreis. Das zweite fängt aber etwas später an als das erste, und die Länge einer Welle ist für sie der Raum, um welchen zwei Aethertheilchen von einander abstehen, von denen das eine die Peripherie dieses Kreises bereits einmal durchlaufen hat, wenn das andere gerade anfängt. Dieser Abstand wird aber bei der Spirale nothwendig gleich der Weite eines Schraubengangs.

Ein langes Pendel, welches aus einem Faden und einer Bleikugel besteht, kann ebenfalls zur Versinnlichung der verschiedenen Schwingungsarten der Aethertheilchen dienen. Schwingt es in einer Ebene hin und her, so stellt es die Schwingungen des geradlinigt polarisirten Lichtes vor. Ertheilt man ihm einen zu seiner Bewegung senkrechten Stoss in dem Augenblick, in welchem es keine Geschwindigkeit hat, und ist dieser Stoss seiner bewegenden Kraft gleich, so beschreibt

es in derselben Zeit einen Kreis; stösst man es aber früher oder später an, so durchläuft es eine Ellipse.

§. 267.

Es gibt verschiedene Methoden, geradlinigt-polarisirtes Licht darzustellen. Die folgende ist am besten geeignet, seine Eigenschaften auf eine vollkommene Art Vielen zugleich zu zeigen: Man leitet durch den Heliostat einen Lichtstrahl *ab*, Fig. 362, in das dunkle Zimmer, und lässt ihn unter einem Winkel von ohngefähr 35⁰ auf eine Schichte *cd* von sechs bis acht sehr dünnen, weissen Glasplättchen fallen. Ein Theil des Lichtes geht in der Richtung *bf* durch, ein anderer in der Richtung *bg* zurück. Die Schwingungsrichtungen des reflectirten und des durchgehenden Strahls sind alsdann nach der jetzigen Theorie senkrecht zu einander, und man nimmt an, die Schwingungen des gebrochenen Strahls *bf* seien parallel mit der Reflexions- oder Brechungsebene, und folglich durch die zu *bf* senkrechten kleinen Striche angegeben; die Schwingungen des zurückgeworfenen Strahls *bg* dagegen seien senkrecht zur Reflexionsebene, und ihre Projectionen also durch die Punkte auf *bg* angegeben. Dieser Annahme gemäss werden also die nach allen möglichen Richtungen gehenden Schwingungen eines gewöhnlichen Lichtstrahls *ab* in dem Moment der Brechung und der Reflexion auf die oben angegebene Art in solche zerlegt, die mit der Reflexionsebene parallel, und in solche, die zu ihr senkrecht sind. In der That sind auch die Eigenschaften beider Strahlen von der Art, dass sie das Gesagte zu bestätigen scheinen; denn hält man über die Glasplättchen *cd*, Fig. 363, eine zweite Schichte *mn* solcher Glasplättchen parallel mit der ersten Schichte und so, dass der reflectirte Strahl *bg* darauf fallen muss, so bemerkt man an der gegenüberstehenden Wand, dass er von *mn* reflectirt wird, und an der Decke des Zimmers, dass nur sehr wenig Licht durch *mn* gegangen ist. Bringt man dagegen die zweite Schichte *pq*, wie in Fig. 364, gleichfalls in parallele Lage mit *cd*, in die Richtung des durchgehenden Strahles *bf*, so wird dieser Strahl nicht reflectirt, sondern er geht durch. Dreht man nun die Glasschichte *pq* um den Strahl *bf*, bei unveränderter Neigung gegen denselben, bis der Punkt *q* einen Bogen von 90⁰ durchlaufen hat, so wird der Strahl *bf* wieder zurückgeworfen,

Fig. 362.

Fig. 363.

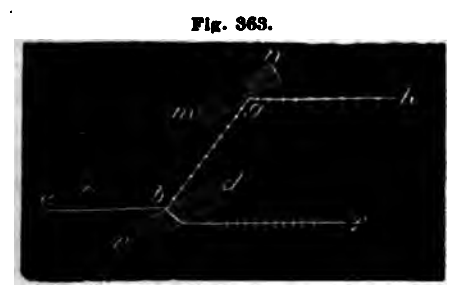


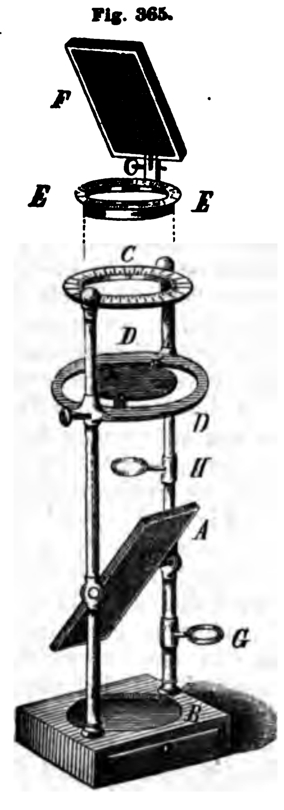
Fig. 364.



und es geht nur sehr wenig Licht durch die Plättchen. In dieser Stellung werden nämlich die Schwingungen des Strahls bf wieder senkrecht zur Reflexionsebene, wie sie in Fig. 362 in Beziehung auf mn waren. Wird mn in Fig. 363 um bg ebenfalls so gedreht, dass es damit immer den nämlichen Winkel bildet, der Punkt m aber einen Bogen von 90° durchläuft, so wird der Lichtstrahl bg von mn nicht mehr zurückgeworfen, sondern er geht durch. Bei 180° wird er wieder zurückgeworfen, bei 270° geht er durch. Unter jedem andern Drehungswinkel geht ein Theil des Lichtes durch, ein anderer zurück. Auch ist unter andern Neigungen des Glases gegen den einfallenden Strahl, als den oben angegebenen, die Polarisation des zurückgeworfenen Lichtes nur unvollkommen. Die Polarisation des *durchgehenden* Lichtstrahls aber nimmt nach *F. Pfaff* zu, mit der Abnahme des Winkels unter dem er auf die brechenden Platten auffällt, und mit der Zunahme der Plattenzahl, so dass z. B. eine einzige Platte einen unter 6° auffallenden und nachher gebrochenen Strahl eben so stark polarisirt, als sieben Platten unter 35°.

Das gewöhnliche Licht unterscheidet sich also dadurch von den polarisirten Strahlen, dass es bei jeder Lage einer Glasschichte zum Theil durchgelassen, zum Theil zurückgeworfen wird, während diess bei dem polarisirten nicht der Fall ist. Statt der Schichten von Glas kann man auch einfache Glasplatten nehmen. Die Erscheinungen sind aber dann weniger vollkommen.

Fig. 365.



Die obige Erscheinung, so wie viele andere, die in der Folge vorkommen werden, beobachtet man sehr bequem mit Hilfe des Polarisations-Instrumentes von *Nörrenberg*, Fig. 365. Es besteht aus der *polarisirenden Glasplatte A*, welche um eine horizontale Achse zwischen zwei vertikalen Stäben gedreht werden kann, und einem gewöhnlichen Planspiegel von Glas *B*, welcher horizontal und darum parallel mit der ringförmigen Oeffnung *C* ist. Auf dem Rande der letztern befindet sich eine Kreistheilung. In den Ring *C* passt der Ring *EE* mit dem concentrischen Loch und dem unter 35° gegen die vertikale Achse des Instrumentes geneigten und geschwärzten Glas *F*, welches der *Analyseur* genannt wird. Das Tischchen *D* besteht aus einem messingenen, verschiebbaren Ringe und einer runden Glasplatte xx, die sich um eine Achse unter verschiedenen Winkeln gegen den Horizont stellen lässt. Die verschiebbaren Sammellinsen *G* und *H* dienen zu mehreren, später zu beschreibenden Versuchen.

Um nun die obigen Erscheinungen mit Hilfe dieses Instrumentes wahrzunehmen, stellt man es so in der Nähe des Fensters auf, dass das Tageslicht, oder noch besser, das einer weissen Wolke, in der Richtung von ab, Fig. 366, auf die polarisirende Glasplatte *A* fällt, und dreht

Fig. 366.

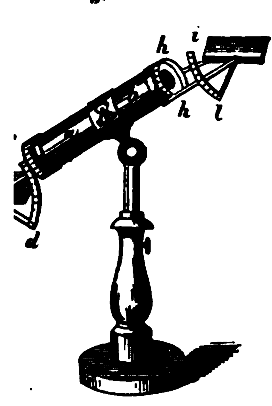


sie so, dass sie mit der vertikalen Achse des Instruments einen Winkel von ohngefähr 35° bildet. Das senkrecht zur Reflexions-Ebene schwingende Licht geht alsdann in der Richtung *bc* auf den Spiegel *B*, und von da zum Theil auf demselben Weg zurück, zum grossen Theil in der Richtung *cd*, parallel mit der Achse nach dem Analyseur *F*, Fig. 365, der über dem Ring *C* aufgestellt ist. Beim Kerzenlicht kann man den Versuch auf dieselbe Art anstellen, und wenn das Tageslicht nicht in einer bequemen Richtung auf die polarisirende Glasplatte fällt, so kann man durch einen Be-
ıngsspiegel ihm diese geben. Ist nun der Spiegel *F* des Analy- Fig. 365, parallel mit *A*, so wird das polarisirte Licht zurück-
en; dreht man aber den Ring *EE* um 90° oder 270° in der des Rings *C*, so verschwindet das zurückgeworfene Licht.

legen die Ansicht *Fresnel's*, dass die Schwingungen des reflectirten s senkrecht zur Polarisations- oder Reflexions-Ebene seien, ist ehreren Seiten die Behauptung aufgestellt worden, jene Schwin- seien parallel damit und die des gebrochenen Strahles senkrecht Aller Wahrscheinlichkeit nach ist aber obige Annahme die e.

Im die Polarisation des Lichtes genauer zu beobachten und die Winkel zu unter denen sie am vollkommensten erfolgt, bedient man sich des *Polari-Instrumentes* von *Biot*, Fig. 367. Dieses besteht aus einer cylindrischen Röhre *ab*, welche an beiden Enden offen und auf einem Fusse so befestigt ist, dass das Instrument in horizontaler und vertikaler Richtung jede Lage annehmen kann. An dem Ende bei *a* ist ein eingetheilter Viertelkreis *fd* an die Röhre befestigt, um dessen Mittelpunkt *c* sich ein Zeiger drehen lässt. Mit diesem Zeiger dreht sich um dieselbe Achse eine geschwärzte Glasplatte *gc*. Am andern Ende des Rohres ist ein breiter Ring *hh* befestigt, dessen Umfang ebenfalls eingetheilt ist. Dieser Ring lässt sich um das Rohr *ab* drehen, und die Theilung auf ihm gibt die Grösse dieser Drehung an. An diesem Ring sind die Träger eines zweiten Planglases befestigt, und an diesen Trägern ein getheilter Viertelskreis *l*. Die Glasplatte *i* lässt sich gleichfalls um eine zur Länge des Rohres senkrechte Achse drehen und der Quadrant *l* gibt die Grösse dieser Drehung an. Aus dieser Einrichtung sieht man, dass der ersten und zweiten Glasplatte jede beliebige Stellung gegen die Achse des Rohres *ab* gegeben werden

Fig. 367.



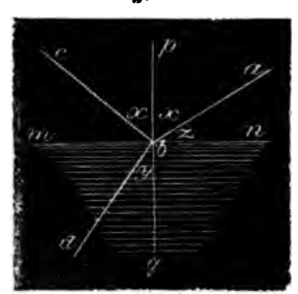
nd dass man zugleich die obere Glasplatte um diese Achse zu drehen vertellt man die untere Platte so, dass ein von ihr reflectirter Lichtstrahl einen von 35° 25′ damit bildet und zugleich mit der Achse des Rohres *ab* parallel ist er polarisirt. Fällt er daher auf den zweiten Spiegel, während dieser ten parallel ist, so wird er davon zurückgeworfen und kann in der gehörigen des Auges beobachtet werden; dreht man aber den obern Spiegel, während ıe Neigung zur Achse unverändert lässt, mittelst des Ringes *hh*, so wird der e Lichtstrahl immer schwächer und verschwindet fast gänzlich, wenn die Dre- beträgt. Bei 180° wird er wieder vollkommen sichtbar, und bei 270° verschwinbermals. Auf das obere oder untere Ende der Röhre *ab* kann man Deckel mit

runden Oeffnungen stecken, um durch sie das polarisirte Licht auf Krystalle oder andere Körper zu leiten und die Veränderungen zu beobachten, die es beim Durchgang oder bei der Reflexion von denselben erleidet. Will man den Polarisationswinkel eines andern Körpers, z. B. einer Obsidianplatte untersuchen, so legt man sie auf das untere Glas und stellt die Glasplatte *i* so, dass das von dem Obsidian reflectirte Licht verschwinden müsste. Indem es nun nicht ganz verschwindet, dreht man *g* um die Achse *c* so lange, bis man die Stellung gefunden hat, in der das von *i* reflectirte Licht am schwächsten ist. Der Quadrant *fd* gibt alsdann die Neigung der Obsidianplatte gegen die Achse *ab* oder den Polarisationswinkel an. Er wird in diesem Fall nur 34° sein.

§. 268.

Seitdem *Malus* die Entdeckung gemacht hat, dass ein Lichtstrahl in zwei senkrecht zu einander polarisirte Strahlen durch die Reflexion zerlegt werden kann, von denen der eine durch das Glas geht und der andere reflectirt wird, und dass beide nachher ihre Polarisation auf dem folgenden Wege beibehalten, hat man sich bemüht, den Winkel zu finden, unter welchem diese Erscheinung bei verschiedenen Körpern am vollkommensten stattfindet. *Brewster* hat gefunden, dass bei gleichförmig dichten Körpern der Polarisations-Winkel auf folgende Art mit dem Brechungs-Verhältnisse zusammenhängt: Wenn *ab*, Fig. 368, der einfallende Lichtstrahl und *z* seine Neigung zur Ebene *mn*, oder *x* der Einfallswinkel mit dem Neigungslothe *pq* ist, so findet die Polarisation am vollkommensten statt, wenn der gebrochene Lichtstrahl *bd* mit dem reflectirten Lichtstrahl *bc* einen rechten Winkel bildet. Kennt man darum das Brechungsverhältniss, so ergibt sich daraus der Winkel der vollkommenen Polarisation durch eine leichte Rechnung, und umgekehrt auch aus diesem das Brechungs-Verhältniss. Auf die letztere Art ist z. B. in der Tabelle über die Brechungs-Verhältnisse das des Quecksilbers bestimmt.

Fig. 368.



Unter diesem Winkel werden also die Aethertheilchen in dem reflectirten Strahle *bc*, Fig. 368, so polarisirt, dass sie in Richtungen schwingen, welche zur Ebene des Papieres senkrecht sind, während die Aethertheilchen im gebrochenen Strahle *bd* in Richtungen schwingen, welche in der Ebene des Papieres liegen, aber zur Richtung des reflectirten Strahles parallel sind. Bildete der reflectirte Strahl *bc* mit dem gebrochenen *bd* keinen rechten Winkel, so würde die Zerlegung des Lichtstrahls *ab* weniger vollkommen sein, indem sich beweisen lässt, dass alsdann ein Theil des reflectirten Lichtes parallel mit der Einfallsebene schwingen müsste. Ebenso lässt sich zeigen, dass die auf der Einfalls-Ebene senkrechten Vibrationen durch die Reflexion in andere von gleicher Art, aber von entgegengesetzter Richtung verwandelt werden, und dass die mit der Einfalls-Ebene parallelen Vibrationen in andere umgewandelt werden, die im Momente der Reflexion bald in einem Sinne, bald im entgegengesetzten gerichtet sind, je nachdem die Summe des Einfalls- und Brechungswinkels kleiner oder grösser als ein rechter Winkel ist.

Aus dem obigen von *Brewster* entdeckten Gesetze folgt, dass nicht alle Farben unter demselben Winkel vollkommen polarisirt werden kön-

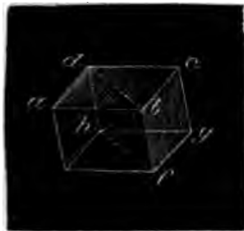
nen; indem nicht alle eine gleiche Brechung erleiden, und dass also die Polarisation für weisses Licht, welches aus allen möglichen Farben besteht, nie vollkommen sein kann, wenn sie auch für eine seiner Farben vollkommen ist.

Da in Fig. 368 nach dem Obigen $y = 90 - x$, wenn x der Winkel der vollkommensten Polarisation ist, so ist $\sin y = \cos x$. Indem aber $\frac{\sin x}{\sin y}$ das Brechungsverhältniss heisst, und $\frac{\sin x}{\sin y} = \frac{\sin x}{\cos x} = \text{tang } x$, so ist x derjenige Winkel, dessen Tangente dem Brechungsverhältnisse gleich ist. Für Luft und Glas ist daher nach §. 234 $\text{tang } x = \frac{153500}{100029}$; folglich $x = 56^0\ 50'$, daher $s = 33^0\ 10'$. Bei andern Körpern wird x ebenso aus dem Brechungsverhältnisse gefunden. Die Ausnahme, welche manche Glasarten von dem Gesetze machen, rührt nach *Brewster* und *A. Seebeck* von einer Veränderung ihrer Oberflächen her, und findet nicht statt, wenn diese noch ganz frisch geschliffen sind.

§. 269.

Wenn ein Lichtstrahl unter irgend einem Winkel auf einen Krystall fällt, so wird er in manchen Fällen ebenfalls in zwei nach verschiedenen Richtungen polarisirte Strahlen zerlegt. In besonders hohem Grade ist diess beim *isländischen Kalkspathe* oder beim sogenannten *Doppelspathe* der Fall. Ehe jedoch die damit verbundenen Erscheinungen erklärt werden können, ist eine nähere Kenntniss dieses Krystalles nöthig. Die Kerngestalt des Kalkspathes, welche man durch Spalten seiner Blätterdurchgänge erhält, ist, wie im §. 26 gesagt wurde, ein Rhomboëder, oder ein von sechs verschobenen Quadraten eingeschlossener Körper, Fig. 369. Verbindet man die beiden Ecken b und h, an welchen drei stumpfe Winkel zusammenstossen, mit einander, so erhält man bh oder die *Hauptachse* des Krystalles. Jede zu $abcd$ senkrechte Ebene wie $bfhd$, in welcher diese Achse liegt oder die zu dieser Ebene parallel ist, heisst ein *Hauptschnitt* des Krystalls. Da nun jeder Krystall angesehen werden kann als zusammengesetzt aus unendlich vielen der Kerngestalt ähnlichen Massentheilchen, so ist jede mit der Hauptachse parallele Linie als eine Hauptachse zu betrachten.

Fig. 369.



Schon aus der Zusammensetzung des Kalkspath-Krystalles lässt sich vermuthen, dass die Elastizität in demselben nicht nach allen Richtungen gleich ist. Indem aber der Krystall rücksichtlich der Hauptachse symmetrisch ist, da alle zu ihr senkrechten Querschnitte reguläre Dreiecke sind, so wird auch die Elastizität in jeder dazu senkrechten Richtung gleichförmig sein. Diese Vermuthung wird zur Gewissheit erhoben, wenn man die Uebereinstimmung der folgenden Gesetze mit dieser Voraussetzung erwägt.

§. 270.

Wenn ein Lichtstrahl ab, Fig. 370, in der Ebene eines zur Oberfläche senkrechten Hauptschnittes $mnop$ auf einen solchen Krystall fällt, so wird er gebrochen, und es treten bei c und d zwei Strahlen

Fig. 370.



parallel mit einander aus. Die Schwingungen des Strahles *ce* sind senkrecht zur Ebene des Papieres, und die des andern *df* fallen in die Ebene des Papieres. Die Schwingungen der Aethertheilchen auf *bc* sind also senkrecht zum Hauptabschnitte *mnop*, und die auf *bd* erfolgen in der durch die kleinen Querstriche angegebenen Richtung. Die ersten sind mit den zur Hauptachse senkrechten Schichten *rs* parallel, die Neigung von *bc* oder *ab* mag sein, welche sie wolle; die letzteren bilden mit diesen zur Hauptachse senkrechten Schichten bei jeder andern Neigung von *bd* oder *ab*, einen andern Winkel. Die Geschwindigkeit von *bc*, oder das Brechungsverhältniss für diesen Strahl, wird also unter jedem Einfallswinkel von *ab* das nämliche sein; die Geschwindigkeit von *bd* aber bei jedem Einfallswinkel eine andere werden. Daher muss eine doppelte Brechung entstehen, deren Grund in keiner andern Ursache, als in der Verschiedenheit der Polarisations-Richtungen, in welchen die Aethertheilchen schwingen, gefunden werden kann. Man nennt auch aus der obigen Ursache *bc* den *gewöhnlich* gebrochenen und *bd* den *ungewöhnlich* gebrochenen Lichtstrahl. Alles, was hier gesagt wurde, wird auch durch die Erfahrung vollkommen bestätigt. Legt man nämlich auf *mn* ein Kartenblatt mit einer kleinen Oeffnung, und sieht man in der Richtung der Ebene *mnop* durch den Krystall auf einen hellen Gegenstand, während *mn* von dem Gesichte abgewendet ist, so erblickt das in *ef* befindliche Auge zwei Oeffnungen, die immer gleichen Abstand von einander haben, das Auge mag nahe oder weit von dem Krystalle sein, wenn nur die Lage des Krystalles nicht geändert wird. Neigt man diesen aber, so nehmen die Punkte *c* und *d* verschiedene Entfernungen von einander an. Lässt man beide Strahlen ohngefähr unter dem Polarisations-Winkel auf eine Glastafel fallen, deren Reflexions-Ebene parallel mit dem Hauptschnitt *mnop* ist, so wird nur der Strahl *ec* zurückgeworfen, und dreht man die Glastafel oder den Krystall so, dass die neue Reflexionsebene mit der Ebene des Hauptschnitts einen Winkel von 90° bildet, so wirft sie nur den Strahl *df* zurück. Am deutlichsten stellt man diese Erscheinung dar, wenn man einen Lichtstrahl durch einen Heliostat in's dunkle Zimmer leitet, und durch ein Prisma (Fig. 371) von Doppelspath gehen lässt, dessen Brechungskante zur Hauptachse des Krystalls parallel, und dessen Farbenzerstreuung durch ein Glasprisma aufgehoben ist. Dadurch wird dieser Lichtstrahl in zwei weiter von einander getrennte Strahlen zerlegt, die man durch erregten Staub sichtbar macht. Stehen beide Strahlen vertikal über einander, so wird eine Schichte *mn* von Glasplättchen, Fig. 371, oder auch eine einzige Glasplatte, wenn sie so gehalten wird, dass ihre Reflexionsebene gleichfalls senkrecht ist, und die gebroche-



Fig. 371.



nen Strahlen ohngefähr unter dem Polarisations-Winkel darauf fallen, nur den Strahl *bg* zurückwerfen und den andern *bf* durchlassen.

Als eine Folge der obigen Theorie, welche zuerst von *Fresnel* aufgestellt worden ist, kann Folgendes angesehen werden: Fällt *ab* (Figur 370) so auf *mn*, dass *bd*, vermöge der Brechung, parallel zur Hauptachse *on* wird, so werden die Schwingungen der Aethertheilchen von *bd* senkrecht zur Achse *on*, und fallen in Ebenen, welche, wie die Schwingungen von *bc*, senkrecht zur Achse sind. Die Geschwindigkeit des Lichtes in *bd* wird also dieselbe sein, wie die von *bc*, also auch seine Brechung. In diesem Falle müssen daher *bd* und *bc* einen einzigen Lichtstrahl bilden, der in zwei zu einander senkrechten Richtungen, oder gar nicht polarisirt erscheint, und in der That, wenn man aus dem Kalkspathe ein Plättchen so herausschneidet, dass seine Oberflächen senkrecht zur Achse *on* sind, so geht ein dazu senkrechter Lichtstrahl einfach durch, und ist auch nicht polarisirt; fällt er aber schief auf, so erfolgt wieder eine doppelte Brechung, welche um so grösser ist, je grösser der Einfallswinkel wird, aber bei einerlei Einfallswinkel rings um die Achse die nämliche bleibt.

§. 271.

Stellt man sich vor, ein Lichtstrahl *ab*, Fig. 372, falle nicht in die Ebene des Hauptschnittes *mnop*, sondern er habe eine dazu geneigte Richtung, so ist damit die Möglichkeit noch nicht aufgehoben, dass dieser Lichtstrahl in zwei verschiedenen Richtungen polarisirt werde, wovon die eine senkrecht zur Achse und die andere parallel mit der Ebene des Hauptschnittes ist. Zieht man nämlich *ed* oder die kürzeste Linie, welche zwischen *ab* und der Achse *no* möglich ist, so ist diese sowohl zu *ab* als zu *no* senkrecht, und gibt darum die Richtung der Schwingungen des gewöhnlich gebrochenen Strahles an. Macht man nun *ef* senkrecht zu *ab*, und parallel mit der Ebene *mnop*, so ist *ef* die Richtung der Schwingungen des ungewöhnlich gebrochenen Strahles. Diese ändert sich offenbar, wenn *ab* eine andere Lage gegen die Achse annimmt. Wird *ab* senkrecht zur Ebene des Hauptschnittes, so fällt *ed* in diese Ebene, und *ef* wird parallel mit *no*; der Lichtstrahl geht also ungebrochen durch. Daraus folgt also, dass ein Lichtstrahl durch die zur Hauptachse senkrechte, und durch die mit dem Hauptschnitte parallele Ebene ungetheilt fortgeht, wenn er senkrecht auf eine dieser Ebenen fällt; in jeder andern Richtung erleidet er eine doppelte Brechung. Man kann beide Gesetze leicht durch den Versuch nachweisen, wenn man, wie im vorigen §., die Polarisations-Richtungen beider Strahlen untersucht, und ein Doppelspath-Plättchen besitzt, welches parallel mit dem Hauptschnitt geschliffen ist.

Fig. 372.

§. 272.

Ausser dem Doppelspath besitzen alle Krystalle, welche zu dem drei- und einachsigen, oder zu dem zwei- und einachsigen System ge-

hören, die Eigenschaft, einen gewöhnlichen Lichtstrahl, der nicht parallel zur Hauptachse ist, in zwei senkrecht zu einander polarisirte Strahlen zu zerlegen, welche mit verschiedener Geschwindigkeit in dem Krystall fortgehen. Die Richtung, in welcher keine Zerlegung erfolgt, heisst die *optische Achse*, und fällt in diesen Krystallen stets mit der Hauptachse zusammen. Es ist von grossem wissenschaftlichen Interesse, die Theorie dieser Erscheinung, wie sie zuerst von *Huyghens* und später von *Fresnel* ausgebildet wurde, näher kennen zu lernen. Man nimmt an, dass in einem solchen Krystall die Elastizität in der Richtung der Hauptachse durch eine Linie $\alpha = ab$, Fig. 373, und in jeder dazu senkrechten Richtung durch eine Linie $\beta = de$ vorgestellt werde. Beschreibt man alsdann mit diesen beiden Linien eine Ellipse $aebd$ und dreht man dieselbe um ab, so erhält man ein Rotations-Ellipsoïd, in welchem jede von c auf beiden Seiten bis an die Oberfläche gezogene Linie fg die Grösse der Elastizität in dieser Richtung angibt. Die Oberfläche dieses Ellipsoïdes heisst die *Elastizitäts-Fläche*. Wird in diesem Krystall der Punkt c in Schwingungen versetzt, welche senkrecht zu ab sind, gleichviel, ob sie nach der Richtung cx, cy oder ce erfolgen, so pflanzen sich diese mit einer Geschwindigkeit fort, welche der Elastizitätsgrösse de entspricht; während die mit ab parallelen Schwingungen mit einer Geschwindigkeit fortgepflanzt werden, die alsdann der Linie ab entspricht. Sind aber die Schwingungen parallel mit fg, so entspricht ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Linie fg. Stellt daher c in Fig. 374 denselben Punkt wie vorhin und ck die Richtung der Hauptachse vor, und macht man $ck = cm = co = \beta$ und $cp = \alpha$, so legt ein Lichtstrahl cm, wenn seine Schwingungen senkrecht zu ko sind, in derselben Zeit den Weg cm zurück, in der ein anderer, dessen Schwingungen parallel zu ko sind, von c nach p gelangt. Beschreibt man mit den Linien pq und ko eine Ellipse, so ist diese der Ellipse in Fig. 373 ähnlich, und wenn darum der Winkel rcp in Fig. 374 gleich dem Winkel fca in Fig. 373 gemacht wird, so ist cr in Fig. 374 gleich fg in Figur 373. Macht man die Linie cl in Fig. 374 senkrecht zu cr, so ist sie parallel zu der Linie cf in Fig. 373. Ein Lichtstrahl, dessen Schwingungen parallel zu cl sind, geht also in derselben Zeit von c bis r, während er nur den Weg cs zurücklegte, wenn seine Schwingungen senkrecht zu ko wären. Dasselbe gilt unter der nämlichen Voraussetzung für jeden andern Strahl. Dreht man darum die Ellipse und den Kreis um die Achse ko, so gibt die Entfernung cr, von c bis an die Oberfläche des Ellipsoïds. die Geschwindigkeit eines Strahls cr an, dessen Schwingungen

Fig. 373.

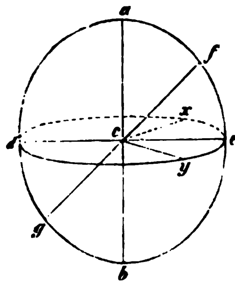
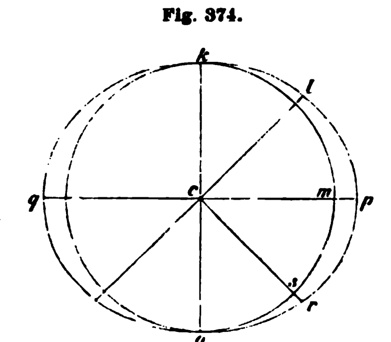


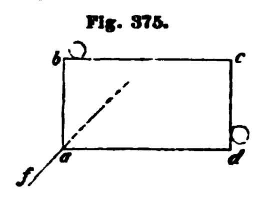
Fig. 374.



in der Richtung *cl* erfolgen, also in einerlei Ebene mit dem Lichtstrahl *cr* und der Hauptachse *ck* liegen; und *cs* gibt die Geschwindigkeit eines Strahls *cr* an, dessen Schwingungen senkrecht zu *ko* und *cr*, folglich auch zur obigen Ebene sind. Diese Ebene aber wurde schon früher ein *Hauptschnitt* genannt. *Das Ellipsoïd ist darum die Wellenfläche für die Strahlen, deren Schwingungen in der Ebene des Hauptschnitts liegen, und die Kugel ist die Wellenfläche für die Strahlen, deren Schwingungen senkrecht zur Achse und zum Hauptschnitt sind.*

Denkt man sich nun, irgend ein Körper, z. B. ein Brettchen *abcd*, Fig. 375, habe nach *ab* und *ad* verschiedene Elastizitäten, und ein Stoss pflanze sich in derselben Zeit von *a* nach *b* fort, in der er von *a* nach *d* gelangt, so wird ein Stoss in der Richtung *fa* bewirken, dass eine Kugel in *b* zugleich mit der Kugel in *d* abgestossen wird. Diese beiden Bewegungen treffen darum nach gleichen Zeiten in ungleichen Entfernungen ein. Gerade so ist es mit einem Lichtstrahl, der z. B. in der Richtung *cp*, Fig. 374, fortgeht, und dessen Schwingungen weder parallel noch senkrecht zu *ko* sind. Auch hier geht ein Theil der durch sie veranlassten Bewegung mit einer grössern, der andere mit einer kleinern Geschwindigkeit fort; denn zerlegt man die Schwingungen in solche, die parallel mit *ko* und senkrecht zu *ko* sind, so pflanzt sich der mit *ko* parallele Theil bis *p* fort, während der zu *ko* senkrechte Theil nur bis *m* geht. Ist darum der Krystall bei *p* begränzt, so tritt der erste Theil des Strahls, welcher Schwingungen parallel mit *ko* macht, früher bei *p* aus als der, dessen Schwingungen senkrecht zu *ko* sind. Darum treten gleichsam zwei Strahlen aus, deren Schwingungen senkrecht zu einander sind. Dasselbe muss bei jedem andern Strahl geschehen, dessen Schwingungsrichtung einen Winkel mit *ko* bildet. Geht darum von *c* ein Lichtstrahl nach *p*, dessen Schwingungen nach allen möglichen zu *cp* senkrechten Richtungen gehen, wie bei einem gewöhnlichen Lichtstrahl, so treten bei *p* zwei senkrecht zu einander polarisirte Strahlen aus. Hat ein Strahl irgend eine andere Richtung *cr*, und sind seine Schwingungen weder parallel zu *cl*, noch senkrecht zu *ko*, so bilden sich auf gleiche Art wie oben zwei Strahlen, von denen der eine die Geschwindigkeit *cr* und der andere die Geschwindigkeit *cs* hat. Die Schwingungen des ersten sind parallel zu *cl* oder zu dem Hauptschnitt *ocr*. Die des zweiten sind senkrecht zur Achse. Der erste hat die *ungewöhnliche*, der zweite die *gewöhnliche Geschwindigkeit.*

Fig. 375.

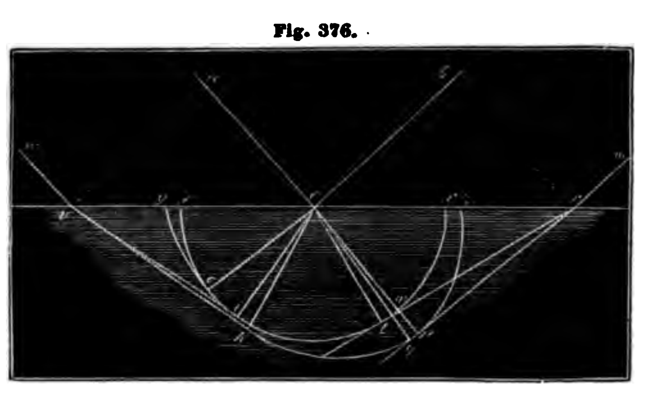


§. 273.

Aus dem vorigen §. ist ersichtlich, warum ein gewöhnlicher Lichtstrahl, der aus Schwingungen nach allen zu ihm senkrechten Richtungen besteht, durch einen solchen Krystall in zwei Strahlen zerlegt wird, von denen der eine nach allen Seiten mit gleicher Geschwindigkeit fortgeht, und der andere eine von seiner Richtung abhängige Geschwindigkeit hat. Will man nun den Weg bestimmen, welchen ein gewöhnlicher Lichtstrahl *r*, Fig. 376, der in einer, dem Hauptschnitt parallelen Ebene auf die Oberfläche *vr* eines solchen Krystalles fällt, nehmen wird, so muss bekannt sein,

1) die Lage der Hauptachse des Krystalls. Diese sei angegeben durch die Linie *co*. 2) Die Geschwindigkeit des Lichts in der Luft, so wie seine Geschwindigkeit in der Richtung der Hauptachse und in der dazu senkrechten Richtung *cp* für Strahlen, die parallel mit *co* schwingen. Diese drei Geschwindigkeiten seien in der Figur 376 vorgestellt durch die Linien *uv*, *co* und *cp*. Beschreibt man mit

Fig. 376.



co die Kugelfläche *fomx* und mit *co* und *cp* das Ellipsoïd *yopz*, so findet man den Weg des Lichtstrahls *bc* nach der Brechung auf folgende Art: Die zu *bc* senkrechte Welle *uc* rückt in derselben Zeit in die Lage *vw* fort, in welcher durch Schwingungen, die zu *oc* senkrecht sind, sich eine sphärische Wellenfläche *fox* bildet, und durch Schwingungen, die alle möglichen andern Richtungen haben, die ellipsoidische Wellenfläche *yopz* entsteht. Die ebene Wellenfläche *vw* durchschneidet die Oberfläche des Krystalls in einer Linie, von der *v* nur ein Punkt ist. Legt man nun durch diese Linie zwei Ebenen, von denen die eine die Kugel *fox*, und die andere das Ellipsoïd *yopz* berührt, so stellen (aus denselben Ursachen wie im §. 229) diese Ebenen die in dem Krystall fortschreitenden Wellenflächen vor. Sind *i* und *h* die Berührungspunkte dieser Ebenen mit der Kugel und dem Ellipsoïd, so stellen die Linien *ci* und *ch* die beiden aus *bc* entstandenen, gebrochenen Strahlen vor, und zwar ist *ci* der *gewöhnlich gebrochene* und *ch* der *ungewöhnlich gebrochene* Strahl. Die Schwingungen des letztern liegen mit *co* und *ch* in *einer* Ebene. Man sieht aus der Figur, dass hier der ungewöhnliche Strahl stärker gebrochen ist als der gewöhnliche, obgleich er eine grössere Geschwindigkeit hat.

Stellt die Linie *uc* einen Lichtstrahl und *bc* die dazu senkrechte Wellenfläche vor, und macht man die Senkrechte $br = uv$ oder gleich der Geschwindigkeit des Lichts in der Luft, so findet man die Richtung der Strahlen, die durch die Brechung des Lichtstrahls *uc* entstehen, indem man durch *r* oder durch die Durchschnittslinie der Wellenfläche *rm* und der Oberfläche des Krystalls zwei Berührungsebenen *rt* und *rq* an die Kugel und das Ellipsoïd legt, und die Berührungspunkte *t* und *q* mit *c* verbindet. Hier ist der gewöhnliche Strahl *ct* stärker gebrochen als der ungewöhnliche Strahl *cq*. In beiden Fällen hat es aber das Ansehen, als ob der ungewöhnliche Strahl von der Achse *co* abgestossen würde, weil er mit ihr einen grösseren Winkel bildet als der zu ihm gehörige gewöhnlich gebrochene Strahl. Die Linie *cq* ist in diesem Fall nicht senkrecht zur Welle *rq*, wäre aber der Krystall bei *q* durch eine mit der Ebene *cr* parallele Fläche begränzt, so würden beim Fortschreiten

von qr die einzelnen Theile dieser Welle dennoch wie im §. 229 nun in der Luft eine mit bc parallele Welle erzeugen; wie man auch dadurch leicht findet, dass man den Weg von qr rückwärts verfolgt. Der austretende ungewöhnliche Strahl muss also, wie der austretende gewöhnliche Strahl, dem einfallenden uc ebenfalls parallel sein.

Es ist leicht einzusehen, dass der ungewöhnlich gebrochene Strahl cq, der gewöhnliche ct und der einfallende uc nicht immer in *einer* Ebene liegen müssen, weil die durch r gelegte Berührungs-Ebene das Ellipsoïd an einer Stelle treffen kann, die nicht in der vertikalen Einfallsebene liegt. Diess ist der Fall, wenn die Einfallsebene gegen den Hauptschnitt geneigt ist.

§. 274.

Alle diese Erscheinungen kommen bei Krystallen vor, bei denen die Elastizität in der Richtung der Hauptsache grösser ist als in der dazu senkrechten Richtung. Ist aber die erstere kleiner als die letztere, und wird auf dieselbe Art wie oben die Elastizitätsfläche construirt, so muss sie die in Fig. 377 abgebildete Gestalt erhalten, wenn ab ihre Hauptachse ist, und alle übrigen Buchstaben dieselbe Bedeutung haben, wie in Fig. 373. Wendet man dieselbe Methode wie bei der im §. 272 gelehrten Construction an, so findet man die Wellenfläche für den gewöhnlichen und den ungewöhnlichen Strahl wie in Fig. 378. Hier ist das Ellipsoïd von der Kugel eingeschlossen. Es ist nun sehr leicht, die Richtung des ungewöhnlich und des gewöhnlich gebrochenen Lichtstrahls auch für solche Krystalle zu finden, wenn man die im vorigen §. 273 angegebene Methode auf einen von aussen kommenden Lichtstrahl anwendet. Man findet alsdann, dass der ungewöhnliche Strahl weniger von der Hauptsache abgelenkt wird als der gewöhnliche, oder gleichsam eine Anziehung erleidet, statt der Abstossung. Daher heissen solche Krystalle auch *einachsige-positive* — und die ersteren *einachsige-negative*. Der isländische Kalkspath ist ein negativer, der Bergkrystall ein positiver. Bei dem ersten ist das Verhältniss der Geschwindigkeiten vom Licht in der Luft, in der Richtung der Hauptachse und in der dazu senkrechten Richtung, für den ungewöhnlichen Strahl wie 1000 : 604 : 674, bei letzterem wie 1000 : 646 : 641, also der Unterschied viel kleiner, daher auch die Doppelbrechung weniger merklich.

Fig. 377.

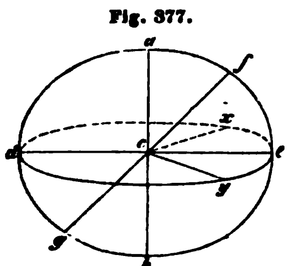


Fig. 378.

Negative Krystalle sind noch: Bitterspath, Braunspath, Turmalin, Rubin, Saphir, Smaragd, Glimmer von Kariat, salpetersaures Natron und viele andere. Positiv sind: Zirkon, Eisenoxyd, Magnesiahydrat, Eis, Zinnstein und andere.

Aus dem Obigen folgt, dass, wenn ein polarisirter Lichtstrahl *fd* (Fig. 370, S. 320), dessen Schwingungen in der Ebene des Hauptschnittes *mnop* geschehen, in dieser Ebene auf einen doppelbrechenden Krystall fällt, er auf die ungewöhnliche Art gebrochen wird; sind dagegen, wie beim Lichtstrahl *ec*, seine Schwingungen senkrecht zur Achse *no*, so wird er auf die gewöhnliche Art gebrochen. Sind aber die Schwingungen beider Strahlen weder senkrecht zur Achse, noch parallel mit dem Hauptschnitte, so werden sie zerlegt, wie die Schwingungen des unpolarisirten Strahles, und zwar auf die in den §§. 265 und 271 angegebene Art. Dadurch entstehen alsdann von jedem Lichtstrahle zwei Bilder, deren Intensität gleich ist, wenn der Hauptschnitt mit der Einfallsebene einen halben rechten Winkel bildet: wie man durch das Polarisations-Instrument, Fig. 365, S. 316, nachweisen kann, indem man auf den Spiegel *B* ein geschwärztes Blech mit einer kreisförmigen Oeffnung legt und dieses durch ein achromatisches Doppelspathprisma im polarisirten Lichte von oben betrachtet, während man das Prisma um eine vertikale Linie dreht.

Fig. 379.

Das Prisma wird zu diesem Zweck am besten, wie in Fig. 379, in eine Röhre gefasst, deren unterer Theil in den Ring *C* des Polarisations-Instrumentes, Fig. 365, S. 316, passt. Auf dem Obigen beruht auch der *Huyghen*'sche Versuch: Man legt auf einen scharf begränzten Punkt ein Kalkspath-Rhomboëder und darauf ein zweites Kalkspath-Rhomboëder. Das letztere erhält von dem ersten stets zwei Strahlen, deren Schwingungen rechte Winkel mit einander bilden. Ist die Lage des zweiten Rhomboëders so, dass die Ebene seines Hauptschnitts mit einer von beiden Schwingungsrichtungen parallel ist, so erblickt man nur zwei Bilder des Punktes; in jeder andern Lage aber vier Bilder.

Ein sehr belehrender Versuch ist auch folgender: Lässt man auf ein Kalkspathprisma einen Sonnenstrahl durch den Heliostat fallen, so entstehen zwei Spectra. Wird aber dieser Lichtstrahl vorher polarisirt und sind seine Schwingungen entweder parallel oder senkrecht zur Ebene des Hauptschnitts von dem Prisma, so entsteht nur *ein* Spectrum.

§. 275.

So wie durch die doppelte Brechung ein Lichtstrahl *ab* (Fig. 370, Seite 320) in zwei andere, *bc* und *bd* zerlegt wird, so muss auch ein in *a*, Fig. 380, befindlicher Punkt bei *fd* doppelt erscheinen, indem zwei von ihm ausgehende Lichtstrahlen *ae* und *ac* nach der Brechung in den Richtungen *cf* und *cd* parallel fortgehen. Befindet sich in *b* ein [illegible] Punkt, welcher von *a* um den Abstand *ec* [illegible] ist, so wird dieser in gleicher Richtung [illegible] strahlen *be* und *bg* veranlassen. Man [illegible] ausserhalb der Ebene des Hauptschnittes [illegible] Punkte sehen; in dieser Ebene aber [illegible] die Lichtstrahlen *be* und *ae* in einen einzigen zusammen, neben welchem der gewöhnlich [illegible] *cd* und der ungewöhnlich gebrochene [illegible]en. Die beiden letzten werden demnach rechtwinklicht zu einander, [illegible] mittelste wird gar nicht polarisirt sein. Auch davon kann [illegible] durch den oben angegebenen Versuch überzeugen. Aber [illegible] Oeffnungen sind zugleich ein Mittel, den gewöhnlich gebrochenen [illegible] von dem ungewöhnlich gebrochenen zu unterscheiden; indem [illegible] *a* und *b* in einer durch sie gezogenen und über den Krystall [illegible] verlängerten Linie vermöge der gewöhnlichen Brechung liegen, [illegible] Auge senkrecht über denselben sich befindet, während ihr [illegible] die ungewöhnliche Brechung bei der geringsten Drehung des Krystalles von dieser Linie sich entfernt.

Fig. 380.

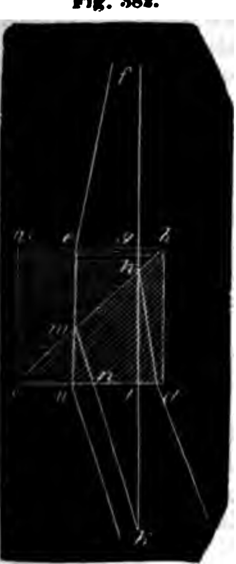
Die Lage des gewöhnlich gebrochenen Lichtstrahles zu dem ungewöhnlich gebrochenen kann man am besten durch die von *Malus* angegebene Methode finden. Man zeichnet auf ein weisses Papier ein rechtwinklichtes Dreieck *abc*, Fig. 381, in welchem die Seite *bc* viel kleiner ist als *ab*, und theilt sowohl *ab* als *ac* in z. B. 10 gleiche Theile. Sieht man nun von *m* dieses Dreieck durch den Krystall an, so erscheint es doppelt, und das zweite Bild *a'b'c'* schneidet das erste in irgend einem Punkte *g*. Es ist aber *fn* der von *f* kommende gewöhnlich gebrochene, und *gn* der von *g* kommende, ungewöhnlich gebrochene Strahl. Da man aus der Theilung von *ab* erkennt, wo *f* und *g* liegen, so weiss man auch die Grösse von *fg*. Den Punkt *n*, in welchem beide Strahlen an der Oberfläche ausfahren und den Lichtstrahl *mn* bilden, kann man leicht dadurch bezeichnen, dass man die Spitze der Feder in die Richtung dieses Lichtstrahles bringt. Nun kennt man die Linien *nf*, *ng* und *fg*, also das Dreieck *fng*, folglich auch den Winkel *fng*. Dieser beträgt für einen senkrecht einfallenden Strahl 6° 12'.

Fig. 381.



Aus dem Vorhergehenden erklären sich nun leicht die bekannten Erscheinungen, dass z. B. ein Punkt in jeder Lage, durch ein gewöhnliches Rhomboëder betrachtet, doppelt gesehen wird, dass eine gerade Linie in der Ebene des Hauptschnittes einfach, in einer dazu geneigten Ebene aber doppelt erscheint; dass das ungewöhnliche Bild eines Punktes, beim Drehen des Krystalls, um das gewöhnliche einen Kreis beschreibt u. s. w. Ebenso ist es nun leicht, die Wirkung des doppelten Prisma's von *Rochon* zu verstehen, welches zur Hervorbringung weit von einander abstehender Bilder eines entfernten Gegenstandes benutzt wird. Ist *abc*, Fig. 382, ein Doppelspath-Prisma, in welchem die obere Fläche *ab* senkrecht zur Achse geschliffen ist, und *cbd* ein anderes, bei welchem die Ebene *cbd* senkrecht zur Achse ist, und sind die Flächen *ad* und *cd* genau parallel, so wird ein von *f* kommender Lichtstrahl *fg*, der senkrecht zu *ab* ist, zwar ungebrochen durch *abc* gehen, aber in *h* eine doppelte Brechung nach *ht* und *hd* erleiden. Ein anderer, von demselben Gegenstande kommender Lichtstrahl *fc* wird in *m*, nach *mn* und *mo* gebrochen. Der Theil *mn* schneidet den vorigen Lichtstrahl *ht* in *k*, und ein in diesem Punkte befindliches Auge nimmt daher den Gegenstand *f* in zwei Richtungen *kt* und *kn* wahr. Stellt man nun in der Richtung von *f* einen Maassstab auf und betrachtet man diesen von *k* aus durch das Prisma, so sieht man ihn gleichfalls doppelt. Dreht man das Prisma so, dass beide Bilder in *eine* vertikale Ebene fallen, so erscheint der eine Maassstab gegen den andern z. B. um 1 Fuss höher. Entfernt man nun den Maassstab, so bleibt der Winkel *k* zwar immer derselbe, aber es muss gerade darum in der doppelten Entfernung die Verschiebung des einen Maassstabs gegen den andern 2 Fuss, in der dreifachen 3 Fuss u. s. w. betragen, weil 2 Fuss in der doppelten Entfernung unter demselben Sehwinkel erscheinen, als 1 Fuss in der einfachen, wenn die Entfernungen hinreichend gross sind. Diess ist die Ursache, warum man diese Vorrichtung als Distanzmesser anwenden kann. Die wichtigste Anwendung erhielt dieses Prisma aber durch *Rochon* bei den Fernröhren als Mikrometer; indem

Fig. 382.

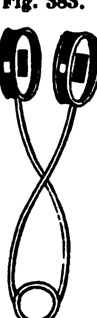


man mit Hilfe desselben die scheinbare Grösse des Gegenstandes findet, und dann aus dem Abstand desselben auf die wahre Grösse schliesst.

§. 276.

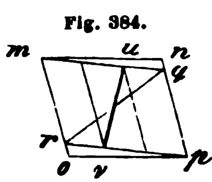
Nach dem so eben angegebenen Versuche ist nun jedes Kalkspath-Rhomboëder, aber noch mehr ein daraus verfertigtes und durch Glas achromatisirtes Kalkspath-Prisma, ein vorzügliches Mittel, augenblicklich zu erkennen, ob ein Lichtstrahl polarisirt sei oder nicht. Lässt man das Licht nämlich durch eine kleine Oeffnung auf den Krystall fallen, und erhält das dahinter befindliche Auge bei der Drehung des Krystalles bald ein, bald zwei Bilder, so ist das Licht polarisirt. Die Richtung, in welcher es polarisirt ist, ergibt sich aus der Richtung, in welcher das ungewöhnlich gebrochene Bild verschwindet. Noch geeigneter hierzu ist ein Turmalinplättchen, welches parallel mit seiner Hauptachse geschliffen ist, *indem es fast alle Strahlen verschluckt, deren Schwingungen senkrecht zu seiner Achse sind.* Die Elastizität des Krystalls in dieser Richtung ist wahrscheinlich sehr gering. Das grüne oder braune Licht, welches durchgeht, schwingt parallel mit der Achse. Dreht man darum das Plättchen, während man einen Körper, von dem polarisirtes Licht ausgeht, dadurch betrachtet, so verschwindet dieses jedesmal, wenn die Achse parallel mit der Polarisationsebene oder senkrecht zu den Schwingungen des Lichtes ist. Passt man nun zwei solche Turmalinplättchen, wie in Fig. 383, in eine Zange, so dass man sie in ihren Fassungen drehen kann, so hat man einen Polarisations-Apparat der einfachsten Art, denn durch das erste Plättchen geht nur Licht, dessen Schwingungen parallel mit der Achse desselben sind. Steht die Achse des zweiten darum parallel mit der ersten, so geht es durch; kreuzen sich aber beide Achsen unter rechten Winkeln, so wird die Helle ein Minimum. Machen aber die Achsen einen kleinern Winkel, so ist die Helle um so grösser, je kleiner derselbe ist. Auch der Herapathit, welcher eine von *Herapath* dargestellte Jod-Chinin-Verbindung ist, zeigt dieselbe Eigenschaft wie der Turmalin, nur ist er zugleich farblos und darum brauchbarer; aber in grössern Stücken als 2 Linien Seite ist es bis jetzt nicht gelungen, ihn zu erhalten.

Fig. 383.



Wegen der Klarheit der Bilder ist das *Nicol*'sche Doppelspath-Rhomboëder dem Turmalinplättchen noch vorzuziehen. Um es zu verfertigen, nimmt man ein gewöhnliches Kalkspath-Rhomboëder, und schleift die zur Ebene des Hauptschnitts $mnop$, Fig. 384, senkrechten Ebenen mn und op so lange in den Richtungen mq und rp ab, bis die natürlichen stumpfen Kanten mr und pq, die mit den Ebenen mn und op Winkel von 71° machten, mit den Schnittflächen mq und rp Winkel von 68° bilden. Darauf schneidet man dieses Prisma in uv so durch, dass diese Schnittfläche senkrecht zum Hauptschnitt und zu den Ebenen mq und rp ist, polirt die beiden Schnittflächen und kittet sie mit Canada-Balsam wieder zusammen.

Fig. 384.



Indem man dem Kalkspath nur eine solche Breite lässt, dass die

lurch *u* und *v* gehenden, mit *mr* und *pq* parallelen Flächen ihn begränzen, erhält man ein Prisma, wie in Fig. 385. Dieses wird nun auf den Seiten schwarz angestrichen und in eine messingene Röhre gefasst. Fällt auf die Fläche *wu* ein Strahl gewöhnlichen Lichtes *ba*, so wird er doppelt gebrochen. Der ungewöhnliche Strahl *ac* geht in der Richtung *cd* weiter; der gewöhnliche Strahl *ai* fällt schiefer auf den Canada-Balsam, und wird, weil dieser das Licht sehr stark bricht, nach *ig* abgelenkt, so dass man, ohne sehr schief in das Prisma zu sehen, ihn gar nicht wahrnimmt. Auch kann er so schief auf die untere Fläche des Canada-Balsam fallen, dass er nicht gebrochen, sondern nach innen reflectirt wird. Ist der Lichtstrahl *ba* polarisirt, und hält man den Nicol so, dass seine Schwingungen der Ebene *wuvs* parallel werden, so geht er durch; dreht man ihn alsdann 90° um seine Achse, so geht kein Licht durch denselben. Betrachtet man folglich eine Strasse oder dgl. durch den Nicol, so fällt alles Licht weg, welches durch Reflexion so polarisirt ist, dass seine Schwingungen zu dem Hauptschnitt senkrecht iind. Mit der Drehung desselben ändert sich folglich das Bild der Helle m Auge.

Fig. 385.



So wie das Licht durch ein Prisma in seine farbigen Elemente :erlegt wird, so werden durch einen der obigen Apparate seine Schwingungsrichtungen erhalten. Daher gibt man ihnen auch den Namen *Analyseur*. In diese Klasse gehört auch die *dichrooscopische Loupe* von *W. Haidinger*. Sie besteht aus einem 2 bis 3 Centimeter langen und l bis 6 Millimeter dicken Stück Kalkspath von natürlicher Form, an lessen beide Enden Glasprismen gekittet sind, deren beide Flächen einen Winkel von 18° bilden. Dieses Kalkspathstäbchen ist in ein kleines Rohr gefasst, dessen eines Ende eine quadratische Oeffnung, und dessen anderes eine runde Oeffnung hat. An der runden Oeffnung ist eine Loupe angebracht, mit der man durch die Prismen und den Kalkspath lie andere Oeffnung deutlich aber doppelt sieht. Die beiden Bilder berühren sich am Rand, und wenn sie daher verschiedene Farben haben, o können diese leicht verglichen werden. Ist das Licht polarisirt, welches durch die quadratische Oeffnung dringt, so verschwindet das eine Bild bei einer gewissen Drehung der Loupe um ihre Achse.

Statt das *Nicol*'sche Prisma aus einem einzigen Rhomboëder zu schneiden, ann man auch zwei länglichte Parallelepipede von gleicher Basis und Höhe nehien und jedes zuerst an dem einen Ende nach der Richtung *mq*, Fig. 384, und odann von der dem *m* gegenüberliegenden Ecke her senkrecht zur Ebene *mq* bschleifen. Hierauf werden beide in obiger Weise zusammengekittet.

§. 277.

Durch diese Hilfsmittel hat man gefunden, dass das Licht nicht ur beim Durchgange durch eine oder mehrere parallele Glasplatten olarisirt werde, sondern auch beim Durchgange durch Achat, Perlmutter nd ähnliche Körper, die einen schichtenartigen Bau haben. Beim Durchang durch organische Körper, wie Horn, Schuppen, Federspulen, die

Hornhaut u. s. w., ist es meistens wie in optisch zweiachsigen Krystallen polarisirt. Bei der Reflexion von allen Körpern, welche kein sehr starkes Brechungsvermögen besitzen, wird das Licht ebenfalls unter einem bestimmten Winkel polarisirt, wie bei Wasser, Marmor u. dergl. Das meiste Licht, welches zu uns gelangt, ist schon polarisirt, wie das des heitern Himmels, und das von Fenstern, Tischen u. s. w. reflectirte Licht. Dass Metalle und andere das Licht stark brechende Körper es nur unvollkommen polarisiren, rührt zum Theil von der grössern Verschiedenheit der Brechungsverhältnisse der verschiedenen Farben her. Auch unter andern Winkeln wird das Licht polarisirt, aber die Polarisations-Richtungen des reflectirten und durchgehenden Lichtes sind nicht mehr senkrecht zu einander. *Jamin* hat nachgewiesen, dass alle Körper durch die Reflexion das geradlinigt polarisirte Licht, dessen Schwingungen nicht zur Reflexions-Ebene senkrecht sind, in elliptisch polarisirtes Licht verwandeln.

Höchst merkwürdig aber ist die von *W. Haidinger* in neuerer Zeit gemachte Entdeckung, dass man das polarisirte Licht auch unmittelbar durch das Auge erkennen kann, indem man in demselben zwei blassgelbe Büschel oder Flecken wahrnimmt, deren Verbindungslinie senkrecht zu der Richtung der Schwingungen ist. Am besten kann man diese Erscheinung wahrnehmen, wenn man eine weisse, mässig erleuchtete Wolke, deren Licht nie polarisirt ist, zuerst betrachtet, dann schnell ein *Nicol'*sches Prisma vor's Auge bringt und dreht. Indem die gelben Flecken sich mit ihm drehen, werden sie sichtbar. Ja man sieht, bei aufmerksamer Betrachtung, ausser diesen Flecken noch zwei andere mit complementärer, blauvioletter Farbe in einer dazu senkrechten Stellung. Mit Hilfe der dichroscopischen Loupe sieht man in den beiden Bildern dieselben gelben Flecken, aber in dem einen haben sie die Stellung ><, in dem andern die Stellung)(.

Weil das von der Oberfläche des Wassers reflectirte Licht polarisirt ist, so geht es nicht durch ein *Nicol'*sches Prisma, wenn dieses so gedreht wird, dass sein Hauptschnitt parallel mit der Reflexionsebene ist. Indem aber das aus dem Innern des Wassers kommende Licht nicht polarisirt ist, oder eine zur obigen senkrechte Polarisationsebene hat, geht es durch. Vermöge der ersten Wirkung durch das Prisma verschwindet darum der Glanz des Wassers, vermöge der zweiten sieht man die Gegenstände im Wasser oder am Boden desselben. Eben so nützlich ist das *Nicol'*sche Prisma in Bildergalerien, wo der Glanz der Bilder oft sehr hinderlich ist. Betrachtet man sie durch einen Nicol oder noch besser durch zwei solche wie zu einer Brille verbundene Prismen, so fällt dieser Glanz bei der rechten Stellung der Prismen weg.

Arago hat die Entdeckung gemacht, dass das Licht des blauen Himmels partiell polarisirt ist in einer Ebene, welche durch den Beobachter, durch den Stern oder Punkt am Himmel, den er betrachtet, und durch die Sonne geht. Sieht man also den Polarstern an, so geht die Polarisations-Ebene durch die Erdachse und die Sonne. Richtet man ein *Nicol'*sches Prisma auf den Polarstern, so kann man durch Drehung desselben die Lage jener Polarisations-Ebene bei heiterem Himmel finden, auch wenn die Sonne nicht über dem Horizont ist. Aus der Neigung der Polarisations-Ebene gegen den durch Zenith und Polarstern gehenden Meridian ergibt sich aber die Zeit des Tages oder der Nacht. Es ist daher möglich, zu jeder Zeit, wenn der Himmel um den Polarstern hell ist, mit Hilfe eines solchen Prisma's die Tagesstunde, wie *Dove* zuerst gezeigt hat, so genau anzugeben, als mit einer Sonnenuhr.

Hierauf beruht *Wheatstone's Polaruhr*. Das Maximum der Luftpolarisation ist 90° von der Sonne, nachher nimmt sie wieder ab. Dicht unter der Sonne ist nach *Brewster* die Polarisation des Lichtes gleich Null. Gleich darauf aber kommt horizontale Polarisation, dann wieder ein neutraler Punkt und darauf vertikale Polarisation. Diess ist nur bei sehr heiterem Himmel bemerklich. Auch das durch eine Wolke gegangene Licht ist in einiger Entfernung davon merklich polarisirt.

Das Verschwinden des polarisirten Lichtes in Turmalinplättchen dient auch dazu, um den Beweis zu liefern, dass die *Newton*'schen Farbenringe von der Interferenz der auf der Vorder- und Hinterseite reflectirten Strahlen herühren; denn stellt man die §. 256 angeführten Versuche so an, dass das Licht unter dem Polarisationswinkel auf die Glaslinse fällt, und legt man diese auf einen Metallspiegel, so sind die von der innern Seite des Glases reflectirten Strahlen polarisirt, die vom Metall reflectirten aber nicht. Da nun im Turmalin-Plättchen, bei gehöriger Stellung, nur die ersten verschwinden, die letzten aber übrig bleiben, so erfolgt keine Interferenz mehr; man sieht also keine Ringe.

§. 278.

In den Krystallen, welche nach §. 26 zu dem dritten, fünften und sechsten System gehören, findet ebenfalls eine doppelte, aber von der obigen verschiedene Brechung des Lichtes statt, welche *Fresnel* durch die Annahme erklärt hat, dass in ihnen die Elastizität nach drei zu einander senkrechten Hauptrichtungen verschieden ist. Nimmt man an, c in Fig. 386 sei der Mittelpunkt eines solchen Krystalls; $de = \alpha$ die Richtung seiner grösseren, $mn = \beta$ die seiner kleinsten, und $ab = \gamma$ die seiner mittlern Elastizität, und beschreibt man mit α und β die Ellipse $dmen$, mit β und γ die Ellipse $ambn$, ferner in jeder andern Richtung mit ab und xz die Ellipse $axbz$: so erhält man für solche Krystalle die dazu gehörige Elastizitätsfläche. Da mn der kleinste und de der grösste Durchmesser dieser Fläche ist, so gibt es in der Ellipse $dmen$ zwei Durchmesser, welche gleich dem mittlern ab sind. Diese seien xz und uv. Ist aber $xz = ab$, so wird die Ebene $axbz$ ein Kreis und keine Ellipse. Ebenso wird $aubv$ ein Kreis, wenn $ab = uv$. Mehr als diese zwei Kreise können aber innerhalb des Körpers $abde$ durch Schnittflächen nicht entstehen. Denkt man sich nun zwei zu diesen Kreisen senkrechte Lichtstrahlen, so fallen ihre Schwingungen in die Ebene derselben und müssen, weil die Elastizität in dieser Ebene nach allen Richtungen gleich ist, mit gleicher Geschwindigkeit fortgehen, welches auch ihre Schwingungsrichtung sein mag. Die Linien, welche zu diesen Kreisen senkrecht sind, geben also die Richtung *zweier optischer Achsen* oder solcher Linien an, in denen keine doppelte Brechung stattfindet. In jeder andern Richtung findet aber eine solche statt, weil vermöge der ungleichen Elastizität eine Zerlegung der Schwingungen stattfinden muss. Einen gewöhnlich gebro-

Fig. 386.

chenen Strahl gibt es darin aus den oben angegebenen Ursachen nicht. Die Wellenfläche für solche Krystalle ist darum auch viel zusammengesetzter, und es überschreitet die Gränzen dieses Lehrbuches, sie vollständig zu entwickeln. Nur Folgendes sei hier noch von ihr erwähnt. Schneidet man die Wellenfläche durch eine Ebene, die durch die Achse α und γ gelegt wird, so entsteht dieselbe Figur, welche man erhält, wenn man eine Ellipse zeichnet, die von einem Kreis in vier Punkten, die sich diametral gegenüber liegen, durchschnitten wird. In der Nähe dieser Durchschnittspunkte befinden sich trichterförmige Vertiefungen der Wellenfläche (Hörner), die *Hamilton* theoretisch abgeleitet hat und welche zu einer durch *Lloyd* auch in der Erfahrung nachgewiesenen, höchst merkwürdigen Auflösung eines Lichtstrahls in einen hohlen Strahlenkegel, oder zur *konischen Refraction* Anlass geben. In den optisch zweiachsigen Krystallen lässt sich die Lage der optischen Achsen nicht wie bei den einachsigen Krystallen aus der Lage der Krystallachsen erkennen, doch halbirt in vielen Fällen die Hauptachse des Krystalls den Winkel, welchen die beiden optischen Achsen mit einander bilden. Diese Halbirungslinie wird die *mittlere* Achse genannt.

Die Winkel der zwei optischen Achsen sind sehr verschieden und betragen bei Salpeter 5° 20′, Glimmer 6°, und bei anderen 30 bis 37° und 45°, Arragonit 18° 18′, Topas von Brasilien 49 bis 50°, Topas von Aberdeen 65°, Zucker 50°. Gyps 60°, essigsaures Bleioxyd 70° 25′, Weinsteinsäure 79°, Seignettesalz 80°, Eisenvitriol 90°.

§. 279.

Die Absorption des Lichtes oder einzelner Theile desselben zeigt sich auch bei den doppeltbrechenden Krystallen, nur steht sie hier mit der Lage ihrer Achsen im Zusammenhang. So ist der Turmalin zuweilen in der einen Richtung fast undurchsichtig, in einer andern dazu senkrechten Richtung lässt er das grüne oder braune Licht durch. Das im §. 225 angeführte Absorptionsgesetz hat *Kirchhoff* auch noch beim Turmalin bestätigt gefunden; indem dieser alle Strahlen, die senkrecht zu seiner Achse schwingen, absorbirt, sendet er im glühenden Zustand keine andern aus, lässt aber zugleich die, mit seiner Achse parallelen Strahlen, durch.

Der *Dichroït* ist in dem längs seiner Achse durchgehenden Licht blau, in einer dazu senkrechten Richtung braungelb. Von dieser Eigenschaft, verschiedene Farben in verschiedenen Richtungen zu zeigen, die man *Dichroïsmus* nennt, hat er auch seinen Namen erhalten. *Haidinger* hat bemerkt, dass wenn man aus solchen Krystallen Kugeln schleift, sie ausser den Hauptfarben in der Richtung der Achsen, in andern Richtungen alle dazwischen liegenden Farben zeigen, und daher für diese Erscheinung das Wort *Pleochroïsmus* vorgeschlagen. Auffallender ist nach ihm diese Erscheinung im polarisirten Licht. Betrachtet man z. B. einen Turmalin, der senkrecht zur Achse geschliffen ist, durch die dichroscopische Loupe, in der Richtung seiner Achse, so sind beide Bilder schwarz; während in der zur Achse senkrechten Richtung das eine Bild schwarz, das andere hell ist. Ueberhaupt bemerkte *Haidinger*, dass wenn man durch einen einachsigen Krystall in der ersten Richtung sieht, die dichroscopische Loupe zwei Bilder von gleicher Farbe zeigt, während in der zweiten Richtung die Farben ungleich sind. Das ordentliche Bild

gibt die erste Farbe oder die der *Basis*, das andere eine davon verschiedene, die er die *Achsenfarbe* nennt. Bei den optisch zweiachsigen Krystallen muss man sich, um die verschiedenen Farben zu erklären, drei auf einander rechtwinklichte Achsen denken. In der Richtung der einen sieht man alsdann z. B. die Farben *a* und *c*, in der Richtung der zweiten die Farben *a* und *b*, und in der dritten *b* und *c*. Zuweilen ist die eine dieser Farben z. B. *a* verschwindend, wenn der Krystall etwas dick ist, dann sieht man auch in den andern Richtungen nur *c* oder *b* oder eine Mischung von beiden.

Am auffallendsten zeigt sich der Dichroïsmus im Pennin. Seine Achsenfarbe ist braungelb, die andere blaugrün. Beim Zirkon ist die erste blassgelb, die zweite blassblau; im Rauchtopas von Gotthard sind sie gelblichbraun, und nelkenbraun, im Beryll, himmelblau und grünlichweiss. Bei zweiachsigen Krystallen, z. B. dem Dichroït, ist die Farbe *a* gelblichgrau, *b* bläulichweiss, *c* reines Berlinerblau.

§. 280.

Da ein krystallisirter Körper das Licht nach bestimmten Richtungen zu polarisiren vermag, so kann er auch solches Licht, dessen Aethertheilchen nur nach einer Richtung schwingen, und welches darum bei einer bestimmten Stellung des zweiten Spiegels im Polarisations-Instrumente (Fig. 365, S. 316) nicht zurückgeworfen wird, so verändern, dass es wieder zurückgeworfen wird, indem er es nach einer andern Richtung, oder nach zwei Richtungen polarisirt. Stellt man z. B. den zweiten Spiegel im Polarisations-Instrumente so, dass er kein Licht zurückwirft, und bringt man auf das Tischchen *D* ein Glasplättchen oder einen andern doppelt brechenden Körper, so wird das Licht wieder zurückgeworfen, wenn die Ebene des Hauptschnittes von diesem Krystall nicht senkrecht oder nicht parallel mit der Polarisations-Ebene ist. Man sagt in diesem Falle, das Licht sei *depolarisirt*, während es aber nur nach andern Richtungen polarisirt ist, und darum auch bei gewissen Stellungen des zweiten Spiegels schwächer reflectirt wird als bei andern.

Durch eine rauhe Oberfläche, z. B. eine weisse Wand, wird das senkrecht auffallende Licht gleichfalls depolarisirt, indem das zerstreut zurückgeworfene Licht wieder nach allen möglichen Richtungen schwingt. Erst wenn es sehr schief darauf fällt, zeigt sich wieder Polarisation.

§. 281.

Schon aus den Richtungen der Schwingungen zweier senkrecht oder parallel polarisirten Strahlen lassen sich folgende, von *Arago* und *Fresnel* gefundene Gesetze abstrahiren: *Zwei in einer Ebene polarisirte Strahlen interferiren sich wie gewöhnliches Licht; wogegen zwei senkrecht zu einander polarisirte Strahlen keine solche Wirkung auf einander haben und bei keinem Unterschiede der Wege sich aufheben können.* Sie wiesen diess nach, indem sie die Beugungs-Erscheinungen, welche durch zwei Oeffnungen entstehen (vergl. Fig. 354 und §. 262 Anm.) benutzten. Waren die Oeffnungen mit zwei genau gleich dicken Turmalinplatten bedeckt und ihre Achsen parallel, so erschien das Beugungsbild wie im gewöhnlichen Licht; waren die Achsen aber senkrecht zu einander, so fielen alle durch die Interferenz der Strahlen beider Oeffnungen entstehenden Erscheinungen weg.

Eine weitere Folge dieses Gesetzes sind nachstehende Erscheinungen: Wenn ein homogener, z. B. violetter und polarisirter Lichtstrahl *ab*, Fig. 387, dessen Polarisations-Ebene unter 45° gegen die Ebene des Papieres geneigt ist, auf ein doppelt-brechendes Plättchen *cd* fällt, dessen Hauptschnitt in der Ebene des Papieres liegt, und dessen Achse mit der Linie *ab* einen Winkel bildet, so wird er nach den Richtungen *fg* und *hi* eine doppelte Brechung erleiden, und zugleich nach zwei zu einander senkrechten Richtungen polarisirt werden. Die Schwingungen des gewöhnlich gebrochenen Strahles *fg* sind alsdann senkrecht zur Ebene des Papieres, und die von dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle *hi* sind damit parallel und die Intensität von beiden ist gleich. Bei jeder doppelten Brechung eilt einer der gebrochenen Strahlen dem andern um eine gewisse Länge *a* voraus, weil beide mit verschiedener Geschwindigkeit durch das brechende Mittel gehen. Diesen Raum *a* kann man auch durch $n \, . \, l$ ausdrücken, wenn n irgend eine ganze oder gebrochene Zahl und l die Länge einer violetten Welle ist. Fängt man nun die beiden Lichtstrahlen *fg* und *hi* abermals mit einem doppeltbrechenden Plättchen *rs*, oder einem achromatischen Kalkspath-Prisma auf, dessen Hauptschnitt zu dem des ersten Plättchens ebenfalls unter 45° geneigt und zu den Schwingungen des Strahls *ab* senkrecht, also zu seiner Polarisations-Ebene parallel ist, so wird jeder Lichtstrahl zum zweitenmale in zwei senkrecht zu einander polarisirte Strahlen von gleicher Intensität zerlegt. Die von *fg* und *hi* kommenden, gewöhnlich gebrochenen, heissen *gl* und *ir*, und die ungewöhnlich gebrochenen heissen *go* und *iq*. Die Strahlen *gl* und *ir* gehen ebenfalls mit gleicher Geschwindigkeit durch das Prisma *rs*, und ihre Vibrationen sind nach der zweimaligen Zerlegung denen des ursprünglichen Strahls *ab* parallel. Sie müssten sich also nach §. 265 verstärken, und sind wegen der zweiten Brechung keiner relativen Verkürzung ihrer Wege unterworfen. Da sie aber von den Strahlen *fg* und *hi* herrühren, so ist ihr Gangunterschied $= n \, . \, l$. Die Strahlen *go* und *iq* gehen ebenfalls mit gleicher Geschwindigkeit durch *rs*; sie sind durch zweimalige Zerlegung aus einem Strahle *ab* entstanden, dessen Schwingungen zu den übrigen senkrecht sind, und sie müssen also nach §. 265 als solche betrachtet werden, deren Gangunterschied, vermöge der zweiten Zerlegung, einer halben Wellenlänge oder $\frac{l}{2}$ gleich ist. Der ganze Gangunterschied der Strahlen *go* und *iq* beträgt also $n \, . \, l + \frac{l}{2}$; während der von den gewöhnlich gebrochenen Strahlen nur $n \, . \, l$ beträgt. In dem Augenblick, in welchem also der gewöhnlich gebrochene Strahl mit grösster Intensität sichtbar ist, muss der ungewöhnlich gebrochene verschwinden. Denkt man sich dagegen, der Lichtstrahl *ab* sei in einer Ebene polarisirt,

welche zu der Polarisations-Ebene des vorigen senkrecht ist, während das Plättchen *dc* und das Prisma *rs* dieselbe Lage behalten, so wird er durch das Plättchen *dc* auf dieselbe Art in die Strahlen *fg* und *hi* zerlegt, wie vorhin, und diese werden abermals in zwei gewöhnlich gebrochene *gl* und *ir*, und in zwei ungewöhnlich gebrochene *go* und *iq* zerlegt; da aber jetzt die Schwingungen des Strahls *ab* mit dem Hauptschnitt von *rs* parallel sind, und die Schwingungen der gewöhnlich gebrochenen Strahlen *gl* und *ir* dazu senkrecht sind, so müssen diese auch zu den Schwingungen des ursprünglichen Strahles *ab* senkrecht, also auch (§. 265) entgegengesetzt sein und sich aufheben, welches so viel ist, als wenn der Unterschied ihrer Wege gleich $\frac{l}{2}$ wäre. Die Schwingungen der ungewöhnlich gebrochenen Strahlen *go* und *iq* sind aber zu denen des ursprünglichen Strahles parallel und verstärken sich also. Wenn daher die Polarisations-Ebene sich um 90° von der ersten Lage entfernt, so verschwindet das auf gewöhnliche Art gebrochene Strahlenpaar *gl* und *ir*, und das andere auf ungewöhnliche Art gebrochene Paar wird sichtbar. Dasselbe muss auch der Fall sein, wenn man das erste Plättchen *cd* oder das zweite *rs* um 90° dreht. Dreht sich die ursprüngliche Polarisations-Ebene nur um 45°, so wird der Lichtstrahl *ab* von *dc* nicht doppelt gebrochen, weil alsdann seine Schwingungen entweder senkrecht zum Hauptschnitt von *dc* oder parallel damit sind. In *rs* aber wird er doppelt gebrochen, und es entstehen daher zwei Bilder von gleicher Stärke. Dasselbe muss für jeden andersfarbigen Lichtstrahl gelten.

Folgende Versuche dienen zur Bestätigung des Vorhergehenden: Man lege einen Deckel mit einem kleinen Loch auf den Spiegel *B* des Polarisations-Instrumentes, Fig. 365, S. 316, und nehme den obern Spiegel *F'* ganz weg, lege auf den Tisch *D* ein Doppelspathplättchen, dessen Dicke höchstens 0,3 Millim. beträgt und dessen Hauptschnitt einen Winkel von 45° mit der Polarisations-Ebene, welches hier die Einfalls-Ebene ist, bildet, so wird das durch dieses Plättchen gehende Licht in zwei zu einander senkrechten Ebenen polarisirt sein. Ueber dieses Doppelspathplättchen lege man nun ein violettes, rothes oder anderes Glas, so geht im ersten Falle nur das violette Licht durch. Lässt man jetzt das durchgehende Licht auf ein Doppelspathprisma und durch dieses in's Auge fallen, so wird man immer, wenn der Hauptschnitt dieses Prisma's parallel mit der ursprünglichen Polarisations-Ebene ist, nur den gewöhnlich gebrochenen Strahl sehen, und wenn er senkrecht zur ursprünglichen Polarisations-Ebene ist, nur den gewöhnlich gebrochenen Strahl, in jeder andern Lage aber nimmt man zwei Bilder wahr.

Anfänger müssen sich diese Erklärungen dadurch erleichtern, dass sie statt der Lichtstrahlen hölzerne Stäbchen nehmen und diese der Länge nach mit parallelen Nadeln bestecken. Statt der Krystalle *dc* und *rs*, Fig. 387, S. 334, nimmt man zur Erklärung rechtwinklicht geschnittene Korkstücke und bezeichnet *eine* Fläche an jedem als Ebene des Hauptschnitts. Steckt man nun einen solchen Lichtstrahl in das Korkstück *dc* so, dass die Stecknadeln unter 45° gegen die Ebene des Hauptschnitts geneigt sind, so hat man den Lichtstrahl *ab*. Auf die andere Seite stecke man zwei dieser Lichtstrahlen so, dass die Stecknadeln des einen senkrecht zur Ebene des Hauptschnitts und die des andern parallel damit sind, so hat man die Strahlen *fg* und *hi*. Die Ebene der Nadeln von *ab* muss die Neigung der Nadeln von *fg* und *hi* halbiren; daraus ergibt sich die Richtung, in welcher die gleichzeitigen Schwingungen zu nehmen sind. Endlich stecke man vier solche Lichtstrahlen in den Kork *rs* und gebe ihnen eine solche Stellung, dass die Nadeln von *gl* mit denen von *ab* parallel sind; und dass die von *go* zu denen von *gl* senkrecht sind; ferner, dass die von *ir* parallel mit denen von *gl* und die von *iq* senkrecht zu denen von *go* sind; so wird man das oben Gesagte leicht verstehen und zugleich

an der Richtung der Nadelköpfe sehen, in welchen Fällen die Schwingungen von *iq* denen von *go* entgegengesetzt sind, und wann diess der Fall ist zwischen *gl* und *ir*.

§. 282.

In dem vorigen §. wurde angenommen, der Lichtstrahl *ab*, Fig. 387, bestehe nur aus homogenem, violettem Lichte; oder, was dasselbe ist, bei *rs* werde nur das violette Licht durchgelassen. Gesetzt, der Lichtstrahl *ab* bestände nun aus einem rothen und einem violetten Lichtstrahle, die auf dieselbe Art polarisirt sind, wie vorhin, so treten andere Bedingungen ein; denn die Welle des rothen Lichtes ist ohngefähr das Doppelte von der des violetten, und beträgt daher die Verzögerung $n \,.\, l$ für die violetten Strahlen *fg* und *hi*, die einfache Länge der violetten Wellen, so muss sie für die rothen Strahlen *fg* und *hi* einen Bruchtheil von der Länge einer rothen Welle betragen. Gesetzt, sie betrüge die *halbe* Länge einer rothen Welle, so müssen, wenn die violetten Strahlen *gl* und *ir* sich verstärken, und die rothen Strahlen *gl* und *ir* sich zerstören, zu gleicher Zeit die rothen Strahlen *go* und *iq* sich verstärken, und die violetten Strahlen *go* und *iq* sich zerstören. Darum müssen dann *zwei* Bilder sichtbar sein, welche sich zusammen zu der Farbe des ursprünglichen Strahles ergänzen. Daraus folgt ganz allgemein, dass, wenn die Verzögerung der Strahlen *fg* und *hi* eine solche ist, dass durch die Interferenz von *gl* und *ir* Theile des ursprünglichen aber zusammengesetzten Lichtstrahls *ab* sich durch Interferenz aufheben, so müssen gerade diese Farben in den ungewöhnlichen Strahlen *go* und *iq* sich verstärken. *Die Farben im gewöhnlich gebrochenen Strahl müssen daher die complementären Farben des ungewöhnlich gebrochenen sein*, wenn der Gangunterschied $n \,.\, l$ einen Einfluss hat. Da die Farbe, welche durch die Interferenz von *gl* und *ir* entsteht, sowohl wenn der Unterschied der Wege $= n \,.\, l.$ als wenn er $= n \,.\, l + \frac{l}{2}$ ist, von der Verzögerung $n \,.\, l$ in dem Plättchen *dc* herrührt, und diese Verzögerung um so grösser ist, je dicker man das Plättchen nimmt, so folgt daraus, dass der gewöhnlich gebrochene und ungewöhnlich gebrochene Strahl bei jedem Plättchen von derselben Materie und derselben Dicke, und bei einer Stellung der Polarisations-Ebene, unter der ein einfacher Lichtstrahl nach dem Durchgang durch *rs* nur einfach gesehen würde, im Tageslicht dieselben complementären Farben zeigen müssen; dass aber auch, wenn die Dicke des Plättchens sich ändert, andere Farben zum Vorschein kommen müssen. Bildet aber im Plättchen *dc* die optische Achse des Krystalls mit *ab* keinen Winkel, oder ist es senkrecht zur Achse geschliffen, so gehen beide Lichtstrahlen mit gleicher Geschwindigkeit durch; die Verzögerung von $n \,.\, l$ ist daher gleich Null, und es bleibt nur die Verzögerung $\frac{l}{2}$. Das heisst, der eine Strahl verschwindet abwechselnd, wenn der andere am intensivsten ist, und es kommt nie eine Farbe zum Vorschein.

Gyps ist ein zweiachsiger Krystall und lässt sich, besonders der vom Montmartre, leicht so spalten, dass rhombische Plättchen entstehen. Die optischen Achsen liegen alsdann in der Ebene dieser Plättchen, und

ein Lichtstrahl, der senkrecht dazu hindurchgeht, wird nach zwei zu einander senkrechten Richtungen polarisirt. Legt man nun ein solches Gypsplättchen, dessen Dicke weniger als 0,3 Millimeter beträgt, auf den Tisch des Polarisations-Instrumentes, Fig. 365, Seite 316, so kann die Polarisation des Lichtes mit einer dieser Richtungen zusammenfallen oder nicht. Im ersten Fall geht es unverändert durch, im andern wird es nach jenen zwei Richtungen zerlegt, und betrachtet man es nun durch ein Doppel-Prisma, so erscheint es mit zwei Farben, die einander an den Stellen, wo die Bilder sich berühren, zu Weiss ergänzen, also complementär sind. Da das eine Bild durch Licht entsteht, dessen Schwingungen zu denen des andern senkrecht sind, so muss, wenn man statt eines Doppelspath-Prisma's den zweiten Spiegel F anwendet, und diesen senkrecht zur Polarisations-Ebene stellt, nur ein einfarbiges Bild erscheinen, und wenn man ihn um 90° dreht, so muss sich das andere Bild mit der complementären Farbe zeigen. Hält man das Glimmerplättchen schief, so erscheinen andere Farben, weil die respective Verzögerung der Lichtstrahlen eine andere ist; legt man aber ein Doppelspath-Plättchen, welches senkrecht zur Achse geschliffen ist, auf den Tisch des Polarisations-Instrumentes, so erscheinen gar keine Farben, weil der Unterschied der Wege nach der ersten Brechung gleich Null ist.

Die Entdeckung der schönen Farbenerscheinungen, welche das polarisirte Licht bei obigem Versuche in krystallisirten Plättchen hervorruft, wurde von *Arago* im Jahr 1811 gemacht. Lässt man polarisirtes Licht durch ein dünnes Gyps- oder Glimmerplättchen gehen, und fängt man es nachher mit einer der polarisirenden Glasplatte parallelen Schichte dünner Glasplatten auf, so erscheint das Plättchen im reflectirten Lichte mit der einen, und im durchgelassenen mit der complementären Farbe. In einem achromatischen Doppelspath-Prisma erblickt man beide Bilder zugleich; besonders schön zeigen sie sich aber einzeln im *Nicol*'schen Rhomboëder.

Wenn das Plättchen dicker als 1/30 Zoll ist, so erscheint es farblos; ist es aber dünner, so erscheinen immer lebhaftere Farben, welche in der Ordnung, wie die von Seifenblasen verschiedener Dicke zurückgeworfenen Farben auf einander folgen, nur ist ein ungeheurer Unterschied zwischen der Dicke des Glimmerplättchens und der dünnen Schichte Wasser, welche jene Farben hervorbringt.

Dass diese Farben Interferenz-Farben sind, kann man durch Zerlegung derselben nach *J. Müller* auf folgende Art zeigen: Man befestigt hinter einen engen Spalt, der in einiger Entfernung vom Heliostat aufgestellt ist, in der Richtung des durchgehenden Lichtstrahls zwei *Nicol*'sche Prismen dicht hinter einander, so dass er beide durchdringen muss. Zwischen diese bringt man ein Gypsplättchen, dessen Hauptschnitt unter 45° gegen die Polarisations-Ebene beider Prismen geneigt ist. Fällt alsdann das durchgegangene Licht auf ein Prisma, wie bei dem Versuch mit den *Fraunhofer*'schen Linien, §. 243, so wird es zerlegt, und das Spectrum kann entweder durch's Fernrohr betrachtet oder auf einem weissen Schirm aufgefangen werden. Es besteht nach der Dicke des Plättchens aus verschiedenen Farben und einer grossen Anzahl dunkler Linien.

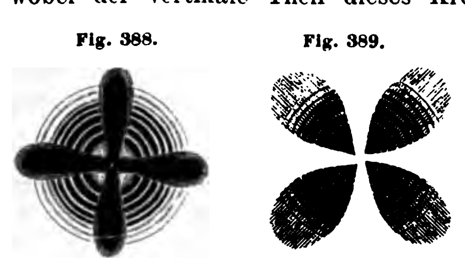
In einem Gypsplättchen, welches keilförmig geschliffen ist, müssen sich alle Farbenmischungen wie im §. 256 zeigen, und in einem linsenförmig concaven Plättchen müssen die *Newton*'schen Ringe zum Vorscheine kommen.

Dass aber das Licht, wie oben angenommen wurde, bei dem Durchgang durch Glas, Krystall oder andere lichtbrechende Körper wirklich eine Verzögerung erleidet, bewies *Arago*, indem er zeigte, dass, wenn bei dem im §. 254 beschriebenen Interferenz-Versuche, der eine von den beiden Lichtbüscheln, welche sich interferiren, vorher ein durchsichtiges Plättchen durchdringen muss, alle Streifen rechts oder links gerückt werden und dass, wenn jeder Lichtbüschel ein Plättchen derselben Substanz durchdringt, eine Verschiebung der Streifen stattfindet, die nicht im Verhältniss zu den absoluten Dicken dieser Plättchen zunimmt. Dadurch ist zugleich das Ungegründete der Emanationstheorie, welche eine Beschleunigung des Lichtes in lichtbrechenden Körpern anzunehmen genöthigt ist, erwiesen.

§. 283.

Wenn man auf eine horizontale Glasfläche Licht fallen lässt, und das Auge die Lage annimmt, dass es einen convergirenden, polarisirten Lichtbüschel von ihr empfängt; sodann vor das Auge ein parallel mit der Achse geschliffenes Turmalinplättchen so hält, dass der polarisirte Lichtbüschel senkrecht darauf fällt, so kann man es so drehen, dass die Achse des Turmalins in die Reflexions-Ebene fällt. In diesem Falle ist die Achse senkrecht zu den Schwingungen, und es geht darum nach §. 276 am wenigsten Licht durch. Wird dann eine Doppelspath-Platte, welche senkrecht zur Achse geschnitten ist, parallel mit der Turmalinplatte zwischen diese und die polarisirende Oberfläche gehalten, so sieht man, wie in Fig. 388, eine Anzahl concentrischer, glänzender und isochromatischer Farbenringe, von einem schwarzen Kreuze durchschnitten, wobei der vertikale Theil dieses Kreuzes in der Polarisations-Ebene liegt. An das Schwarz in der Mitte des Kreuzes gränzt ein dunkelblauer Rand, hieran Weiss in gelblichtes Weiss übergehend, und darauf folgen die Farbenkreise in derselben Ordnung, wie bei den *Newton*'schen Farbenringen. Dieselbe Folge der Farbenringe nimmt man wahr, wenn man statt der Kalkspath-Platte ein Turmalin- oder Beryll-Plättchen, senkrecht zur Achse geschliffen, nimmt. Dreht man alsdann die erste Turmalinplatte nach und nach um 90°, so bildet sich ein weisses Kreuz, Fig. 389, und die Ringe erhalten die complementären Farben der vorigen. Dreht man aber den Kalkspathkrystall um seine Achse, so ändern sich die Farben nicht.

Fig. 388. Fig. 389.



Diese Ringe erscheinen bei demselben Krystalle um so kleiner, je dicker das Plättchen ist, und ihre Durchmesser wachsen im umgekehrten Verhältniss mit den Wurzeln der Dicke. Sie erscheinen oval, wenn die Achse nicht genau senkrecht zum Plättchen steht. Sehr bequem

kann man die Ringe und ihre Veränderungen beobachten, wenn man das Krystallplättchen zwischen die beiden Turmalinplatten der Zange (Fig. 383, S. 328) bringt, und eine der letztern dreht.

Um sich diese Erscheinungen zu erklären, muss man sich erinnern, dass wenn die Achse des Turmalinplättchens parallel mit der Polarisationsebene ist, das polarisirte Licht nach §. 276 von ihr nicht durchgelassen wird. Da nun nach §. 274 ein polarisirter Lichtstrahl, welcher senkrecht auf das Doppelspathplättchen gefallen ist, beim Durchgang durch dasselbe nicht gebrochen und nicht in zwei Strahlen gespalten wird, weil dieses Plättchen senkrecht zur Achse geschliffen ist, so gelangt er unverändert auf das Turmalinplättchen, und wird also von ihm absorbirt. Dadurch entsteht der vertikale Theil des schwarzen Kreuzes. Der Lichtstrahl, welcher rechts oder links von dem Mittelpunkte des letzteren gegen das Auge gerichtet ist, erleidet von dem Doppelspath-Plättchen nur die ungewöhnliche Brechung und behält seine Polarisation, so dass er ebenfalls von der Turmalinplatte nicht durchgelassen werden kann. Dadurch entsteht der horizontale Theil des Kreuzes. Jeder andere Strahl muss in einer schiefen Richtung auf das Doppelspathplättchen fallen, ehe er zum Auge gelangt, und daher eine doppelte Brechung erleiden. Dadurch entstehen zwei Strahlen, deren Geschwindigkeit in der Platte verschieden ist. Denkt man sich rings um den Mittelpunkt des Kreuzes kleine auf das Doppelspathplättchen beschriebene Kreise, so müssen alle Lichtstrahlen, die durch die Peripherie eines solchen Kreises gehen, und convergirend nach dem Auge gerichtet sind, unter gleichem Winkel auf das Plättchen fallen, und daher eine doppelte Brechung erleiden. Der Unterschied der Wege des gewöhnlich und des ungewöhnlich gebrochenen Strahles, welchen wir im §. 281 durch $n \,.\, l$ und $n \,.\, l + \frac{l}{2}$ bezeichneten, muss um so grösser sein, je schiefer sie auf das Plättchen fielen, und wird daher in gleichen Abständen von der Mitte, bald $^1/_2$, bald $^3/_2$, bald $^5/_2$, ... Wellenlängen betragen; an andern dazwischen liegenden Stellen dagegen wird er 1, 2, 3 Wellenlängen ausmachen. Im homogenen Lichte müssen daher nach §. 255 helle und dunkle Kreise, und im Tageslichte nach §. 256 farbige Kreise entstehen.

Auch hier müssen sich die hervorgehenden Farben, wie bei den *Newton*'schen Farbenringen, nach der Dicke der Plättchen richten; nur ist hier eine viel grössere Dicke nöthig, weil das Vorauseilen des einen Strahls vor dem andern erst bei einer sehr merklichen Dicke des Plättchens eine halbe Wellenlänge beträgt, und die Plättchen um so dicker sein müssen, je geringer der Unterschied der Geschwindigkeit des gewöhnlich und des ungewöhnlich gebrochenen Lichtstrahls in dem als Plättchen angewandten Körper ist.

An Plättchen zweiachsiger Krystalle, welche entweder senkrecht zu einer dieser Achsen oder zu einer Linie geschnitten sind, welche den Winkel halbirt, der von beiden Achsen gebildet wird, nimmt man ganz verschiedene Ringe wahr. Im Salpeter z. B., dessen Achsen nur einen kleinen Winkel machen, bildet sich die Fig. 390, welche beim Drehen des Analyseurs in Fig. 391 und 392 verwandelt wird. In diesen Figuren

sind die Mittelpunkte der Ringe die Enden der Achsen. *Herschel* hat gezeigt, dass die farbigen Curven Lemniscaten sein müssen, wie Fig. 393, in welchen das Produkt zweier Fahrstrahlen cm und $c'm$, die von den

Fig. 390.



Fig. 391.



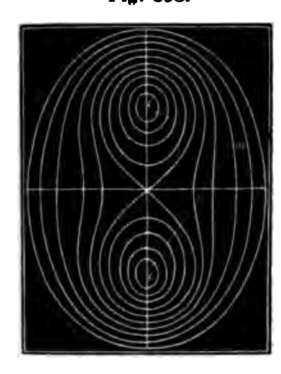
Fig. 392.



Fig. 394.



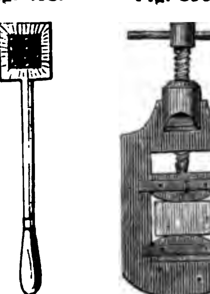
Fig. 393.



Mittelpunkten c und c' an eine und dieselbe Curve gezogen werden, immer dasselbe ist, und von einer Curve zur andern sich ändert. Beim *Arragonit* liegen die Achsen zu weit aus einander; man sieht darum in der Richtung *einer* Achse ein Bild wie Fig. 394. Alle diese und die obigen Erscheinungen kann man in den kleinsten Plättchen schon sehen, wenn man die Linse H, Fig. 365, S. 316, in ihrer Brennweite unter den Tisch D des Polarisations-Instrumentes stellt und in C eine Linse einsetzt, deren Brennweite ebenfalls ihrem Abstand vom Tisch D gleich ist. Darauf befestigt man über der letztern irgend einen Analyseur, das heisst entweder das Glas F, eine Turmalinplatte oder ein *Nicol*'sches Prisma, und betrachtet das darin erscheinende Bild durch eine convexe Linse. Die Lichtstrahlen werden durch H convergirend, gehen durch das Krystallplättchen, und werden durch die in C eingesetzte Linse wieder parallel. Die letzte Sammellinse bringt sie dann wieder convergirend in's Auge.

Seebeck und *Brewster* entdeckten fast zu gleicher Zeit, dass dicke Glasstücke, welche glühend gemacht, und nachher schnell abgekühlt wurden, im Polarisations-Instrumente unter den angegebenen Bedingungen ähnliche Erscheinungen hervorbringen. Ein Würfel z. B. zeigt im durchgelassenen Lichte ein weisses oder dunkles Kreuz, und an den Ecken oft prächtige farbige Zeichnungen, wie Pfauenaugen, die in den verschiedenen Stellungen des obern Spiegels mit complementären Farben erscheinen. Bei anderer Gestalt des Glases erscheinen andere Farben und Bilder. Mehrere schnell gekühlte, über einander liegende Glasplatten bringen dieselbe Erscheinung hervor.

Fig. 395. Fig. 396.



Bringt man ein etwas dickes Glasstück in einen starken messingnen Rahmen, Figur 395, der vorher stark erhitzt ist, so zeigt es im Polarisations-Instrument, so lange es

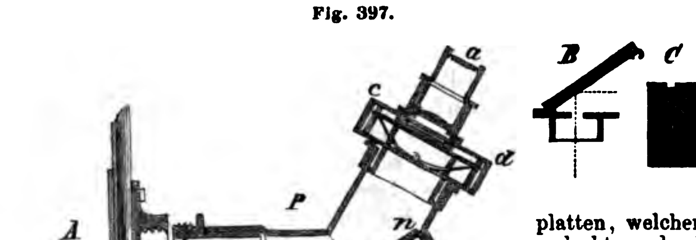
ungleichförmig erwärmt ist, den obigen ähnliche Erscheinungen; ebenso ein Glaswürfel, dessen Elastizität durch die Presse, Fig. 396, ungleichförmig geworden ist, und der darum das Licht doppelt bricht.

Wertheim hat durch Versuche dieser Art, bei welchen die pressenden Flächen eben waren, gefunden, dass der Gangunterschied des gewöhnlichen und des ungewöhnlichen Strahls im Glas den Pressungen proportional ist.

Auch in einem gebogenen Glasstreifen sind die Wirkungen der Doppelbrechung durch einen oder mehrere farbige Streifen sichtbar. Auf gleiche Art gepresst, wurden Kalkspath und Bergkrystall nach *Pfaff* optisch zweiachsig.

Zur *objectiven Darstellung* der meisten Polarisations-Erscheinungen dient der Apparat Fig. 397 von *Watkins*. Er besteht aus dem Heliostat *A* und dem Polariscop *P*. Das letztere enthält bei *mn* einen Bündel dünner Glasplatten, welche unter dem Polarisationswinkel gegen die Achse geneigt sind, und darum sehr viel polarisirtes Licht zurückwerfen. Bei *cd* können Schieber mit den Krystallen, Gypsplättchen u. s. w. in die Richtung der Strahlen gebracht werden. *cd* ist von der Sammellinse *b* ohngefähr um ihre Brennweite entfernt, und in *a* ist eine Linse, deren Abstand von *cd* etwas mehr als die Brennweite beträgt. Eine Kapsel *B*, die darüber geschoben wird, trägt einen Bündel dünner Glasplatten, welcher um die Achse gedreht werden kann, und dann die Polarisations-Erscheinungen sowohl im durchgehenden, als auch im reflectirten Lichte zeigt. Die ersteren fängt man mit einem Schirm von Strohpapier auf; die letzteren auf einem gewöhnlichen Papierschirm. Statt des Glasbündels *B* kann auch ein achromatisches Doppelspath-Prisma *C*, ein Turmalin, *Nicol*'sches Prisma oder ein anderer Analyseur eingesetzt werden, besonders um die complementären Farben dünner Glasplättchen zu zeigen. An die Stelle der Sammellinse *b* können auch zwei stark convexe Sammelgläser gebracht werden, welche bei *cd* die Strahlen eines in Knallgas glühenden Kalkcylinders (oder das Licht der elektrischen Lampe) vereinigen. Der letztere dient alsdann statt des Sonnenlichtes, und das Polariscop wird dabei an einen Kasten angeschraubt, in welchem ein *Daniell*'scher oder ähnlicher Hahn das Knallgas auf den Cylinder leitet, wovon das Nähere bei dem Sonnenmikroscop vorkommen wird. Wenn das Licht nicht concentrirt werden soll, lässt man die Linse *b* weg.

Fig. 397.



§. 284.

Nach der im §. 281 aufgestellten theoretischen Ansicht kann das polarisirte Licht, welches durch einen doppelbrechenden Krystall gegangen ist, dessen Achse genau parallel zu dem einfallenden Lichtstrahl war, nach dem Durchgang durch ein achromatisches Doppelspath-Prisma keine Farben zeigen. *Arago* entdeckte zuerst, dass, wenn ein polarisir-

ter Lichtstrahl senkrecht auf ein Plättchen Bergkrystall fällt, dessen Flächen mit seiner Achse rechte Winkel bilden, dieser durch ein doppeltbrechendes Prisma nachher in zwei Strahlen zerlegt werde, deren Farben complementär sind, und dass diese Farben sich ändern, wenn man das doppeltbrechende Prisma dreht. Legt man ein dünnes Plättchen so geschliffenen Bergkrystalls auf den Tisch D des Polarisations-Instrumentes, Fig. 365, S. 316, und dreht man das zerlegende Prisma so lange herum, bis das ungewöhnliche Bild die geringste Intensität hat, so hat es in dieser Lage z. B. eine schwach violette oder purpurrothe Farbe. Bemerkt man nun den Winkel, welchen der Hauptschnitt des Prisma's mit der Polarisations-Ebene bildet, und nimmt man das Quarzplättchen weg, legt aber an seine Stelle ein anderes, welches die doppelte Dicke hat und von demselben Krystalle geschnitten ist, so ist die Farbe des ungewöhnlichen Bildes nicht mehr violett. Dreht man aber das Prisma in derselben Richtung um einen gleichgrossen Bogen, so wird die Intensität wieder ein Minimum, und man beobachtet dieselbe violette Farbe. Dasselbe Gesetz befolgt in Abständen von 90° auch der gewöhnlich gebrochene Strahl. Ist das Plättchen dicker, so ist der Drehungswinkel grösser, und wenn es dünner ist, kleiner.

Um diese Erscheinung näher kennen zu lernen, lege man ein auf die angegebene Art geschliffenes Bergkrystallplättchen auf den Tisch des Polarisations-Instrumentes und auf den Spiegel einen Deckel, in dessen Mitte ein kleines Loch ist, so dass ein Lichtbüschel von dem Durchmesser jenes kleinen Loches parallel mit der Achse durch das Plättchen geht. Um homogenes, z. B. rothes Licht zu erhalten, halte man nun ein reines, rothes Glas darüber und betrachte den durchgehenden rothen Strahl durch ein Doppelspath-Prisma, dessen Hauptschnitt parallel mit der Polarisations-Ebene ist; man wird alsdann finden, dass das ungewöhnliche Bild nicht verschwunden ist, und dass man das Prisma erst um einen gewissen Winkel drehen muss, ehe es erlischt. Bemerkt man nun den Winkel, welchen der Hauptschnitt des Prisma's mit der Polarisations-Ebene bei dem Verschwinden des ungewöhnlichen Strahles bildet, und nimmt man das Bergkrystallplättchen weg, legt aber an seine Stelle ein anderes, welches die doppelte Dicke hat, und aus demselben Krystalle geschnitten ist, so erscheint das verschwundene Bild wieder. Dreht man aber nun das Prisma in derselben Richtung um einen gleichgrossen Bogen, so verschwindet das ungewöhnliche Bild abermal, und so beim dreifachen Bogen zum drittenmal u. s. w. Bei 2, 3, 4mal dickern Plättchen ist der Drehungswinkel 2, 3, 4mal grösser, und bei dünneren kleiner. Aus diesem Versuche darf man mit Recht schliessen, dass *die Polarisations-Ebene eines Strahles*, welcher die Achse einer Quarzplatte durchläuft, während des Durchgangs aus ihrer ursprünglichen Lage *um einen Winkel gedreht wird, welcher der Dicke der Platte proportional ist.* Diese Drehung betrug nach *Biot's* Versuchen in einer Quarzplatte von 1 Millim. Dicke 17,5° für das äusserste rothe Licht, und 44° für das äusserste Violett. *Diese Zahlen verhalten sich nahezu umgekehrt wie die Quadrate der Wellenlängen*, und man kann darum nach §. 243 die Grösse des Drehungswinkels für die übrigen Farben aus der Wellenlänge berechnen. Bei manchen Quarzkrystallen erfolgt diese Drehung rechts, bei andern links, und es gibt äussere Kennzeichen

dieser Krystalle, an denen sich die Richtung der Drehung vorausbestimmen lässt. Aber nur wenige Quarz-Krystalle, welche diese Zeichen nicht haben, besitzen kein Drehungsvermögen und auch dann nur an einzelnen Stellen. Bei denen, in welchen, wie in Fig. 398, 1 die Kantenzone, in welcher die Trapezfläche *a* liegt, von oben rechts, nach unten links geht, ist die Drehung nach rechts. Geht diese Trapezfläche wie in Fig. 398 2 von oben links, nach unten rechts, so ist die Drehung links. Die Krystalle, welche diese Kennzeichen an sich haben, heissen *Plagiëder*. Zwei Quarzplatten verstärken oder schwächen die Drehung der Polarisations-Ebene, je nachdem sie ein gleiches oder entgegengesetztes Drehungsvermögen besitzen.

Fig. 398.

1 2

Ausser dem Bergkrystall zeigen noch Lösungen anderer Krystalle, viele Flüssigkeiten und sogar Dämpfe die Eigenschaft, die Polarisations-Ebene des Lichtes zu drehen. Rechts drehend sind, z. B. Lösungen von Candis-Zucker, von Dextrin und Weinsteinsäure in Wasser und von Campher in Weingeist. Links drehend sind: Arabischer Gummi, Lorbeeressenz, Terpentinöl und seine Dämpfe. Während lange Zeit Quarz der einzige Krystall war, von dem man die Drehung kannte, hat *Marbach* gefunden, dass chlorsaure Natronkrystalle, obgleich sie dem regulären System angehören, den polarisirten Lichtstrahl rechts drehen, in welcher Richtung er auch durchgehen mag.

In der Lehre von dem Elektromagnetismus wird gezeigt werden, wie durch den Einfluss des Magnetismus in vielen Substanzen die Drehung der Polarisations-Ebene hervorgerufen und in den von Natur drehenden Substanzen vermehrt oder vermindert werden kann.

Indem die Körper, welche die Eigenschaft haben, die Polarisations-Ebene zu drehen, jeder Farbe eine andere Drehung ertheilen, so muss bei derjenigen Stellung des Analyseurs im Nörrenberg'schen Apparat, bei welcher z. B. das äusserste Roth ganz verschwindet, eine Farbe sich zeigen, die aus den übrigen Farben des Spectrums zusammengesetzt ist. Daher muss auch bei jeder weitern Drehung eine andere Mischfarbe zum Vorschein kommen, welche von der Grösse der Drehung und der Dicke des Mittels abhängt.

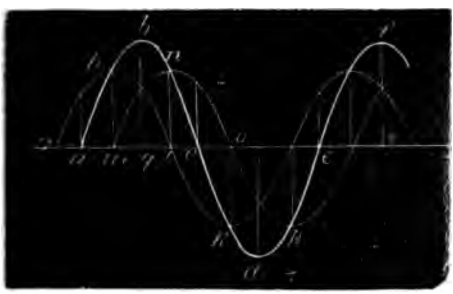
Am besten nimmt man nach *Biot* zu obigen Versuchen eine Quarzplatte von 3,747 Millim. Dicke, weil diese zwischen den gekreuzten polarisirenden und analysirenden Apparaten die *teinte de passage*, das heisst ein Violett zeigt, welches beim Hinzukommen der kleinsten drehenden Kraft sehr rasch in eine andere Farbe übergeht. Diese Farbenmischung erscheint also bei dieser Dicke der Platte in einer Polarisations-Ebene, die zur ursprünglichen Polarisations-Ebene um 90° geneigt ist.

Pasteur hat die Entdeckung gemacht, dass die Krystalle des traubensauren Natron-Ammoniaks im Allgemeinen denen des weinsauren Natron-Kalis gleichen; nur unterscheiden sich erstere noch von ihnen durch eine Hemiëdrie, die bei dem einen traubensauren Krystall rechts, bei einem andern links ist. Scheidet man aus einer Lösung rechtshemiëdrischer Krystalle durch Schwefelsäure die Traubensäure ab, die chemisch sich von der Weinsäure nicht unterscheidet, so ist die Lösung *rechtsdrehend* wie die Weinsäure; scheidet man aber die Traubensäure auf gleiche

Art aus linkshemiëdrischen Krystallen ab, so ist die Lösung ***linksdrehend***. Allgemeinere Untersuchungen zeigten ihm, dass auch andere hemiëdrische Krystalle, die sich nicht überdecken lassen, die Polarisationsebene nach entgegengesetzten Richtungen drehen, welches bei überdeckbaren Hemiëdern nicht der Fall ist.

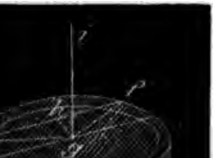
Der Erklärung der Drehungs-Erscheinungen legte *Fresnel* folgenden Satz zu Grunde: Ein polarisirter Lichtstrahl, dessen Schwingungskurve durch den starken Strich *abcdef* in Fig. 399 ausgedrückt ist, kann in zwei andere *ghik* und *mnop* zerlegt werden, die in der nämlichen Ebene schwingen und deren Intensitäten, welche durch die Quadrate von *hm* und *ni* vorgestellt werden, die Hälfte von der Intensität des ursprünglichen Lichtstrahls sind, wenn der Ursprung des Strahls *ghik* um + $^1/_8$ Undulation und der des Strahles *mnop* um — $^1/_8$ Undulation von dem des Strahls *abcdef* verschieden ist. Nimmt man nämlich die Länge der Welle $ae = l$ und macht man $ga = \frac{l}{8}$ und $am = \frac{l}{8}$, ferner $hm^2 = in^2 = {}^1/_2\, bq^2$ und construirt man auf die im §. 150 angegebene Art die Geschwindigkeitskurve, so wird die grosse Welle die resultirende der beiden kleineren sein. Der Ursprung der beiden kleineren ist alsdann um den vierten Theil einer Wellenlänge verschieden.

Fig. 399.



Jede Kraft kann man nach beliebigen Richtungen zerlegen, ohne dadurch eine neue Hypothese vorauszusetzen, und desshalb auch annehmen, dass der ursprünglich polarisirte Strahl in dem Augenblick, in welchem er in das Bergkrystallplättchen tritt, in zwei andere, *A* und *B*, von gleicher Intensität zerlegt werde, deren Polarisations-Ebenen, rechts und links von der ursprünglichen Polarisations-Ebene, mit dieser Winkel von + 45° und — 45° bilden. Die Zeichen + und — in dem Sinne genommen, dass die Winkel positiv zunehmen, in der Richtung, in welcher, von oben gesehen, der Zeiger einer Uhr fortschreiten würde. Den Lichtstrahl *A* kann man so ansehen, als wäre er entstanden aus zwei Lichtstrahlen α und α', welche beide in derselben Ebene + 45° polarisirt sind, von denen aber α' dem α um $^1/_4$ Wellenlänge vorausgeht. Ebenso kann *B* angesehen werden als das Resultat der Wellen β und β', welche in der Ebene — 45° polarisirt sind, von denen aber β' dem β um $^1/_4$ Wellenlänge vorausgeht. Verbindet man nun die Wirkung von α und von β', das heisst von zwei senkrecht zu einander polarisirten Strahlen, deren Unterschied der Wege $^1/_4$ Undulation beträgt, mit einander, so muss daraus, wie in §. 266 gezeigt wurde, und wie man mit Hilfe des dort beschriebenen Apparats, Fig. 361, hier nachweisen kann, eine rechtsdrehende kreisförmige Polarisation entstehen. Die Wirkung der beiden übrigen Strahlen β und α' muss auf gleiche Art eine kreisförmige Polarisation nach der entgegengesetzten Richtung hervorbringen, und es entstehen daher zwei entgegengesetzt kreisförmig polarisirte Strahlen. Nun ist es nicht nöthig, anzunehmen, dass die Bewegung der Aethertheilchen im Kreise nach rechts gerade so gross sei, als in dem nach links. Es kann eine physische Ursache vorhanden sein, warum sie nach der einen Richtung schneller ist, als nach der andern. Die einzige Hypothese aber, dass sie in der einen Richtung geschwinder erfolge, als nach der andern, genügt, in Verbindung mit den obigen mathematischen Wahrheiten, zur Erklärung der angeführten Erscheinungen. Denn drücken in Fig. 400 die Kreise, deren Radien *ac* und *bc* sind, die Richtungen der kreisförmigen Bewegung der Aethertheilchen in dem Strahle *cg* aus, ferner *bc* die Richtung der Schwingungen des polarisirten Strahls *sc* bei seinem Eintritt in den Krystall, und hat der Punkt *b* in der Richtung des untern Pfeiles einen ganzen Umlauf in der Zeit vollendet, in welcher das Licht in dem Krystall den Weg *cg* zurücklegt, während der Punkt *a* in derselben Zeit, aber in entgegengesetzter Richtung, erst einen Theil der Peripherie durchlaufen hat, so wird die erste Spirale in *d* austreten, wenn die zweite in *f* aus dem Krystall tritt. Verbindet man *d* und *f* mit *g*, und bezeichnet man den Winkel *dgf* durch x, so muss sich, weil nun das Licht wieder in die Luft übergeht, aus den beiden Spiralen ein resultirender ge-

Fig. 400.



radlinigt polarisirter Lichtstrahl bilden, dessen Schwingungsebene mit der Ebene *dgc* einen Winkel bildet. Denkt man sich, die erste Spirale werde wieder zerlegt in zwei unter + 45° und — 45° gegen *dg* schwingende polarisirte Strahlen α und β, so muss α um $\frac{l}{8}$ voraus und β um $\frac{l}{8}$ zurück sein. Wird ebenso die zweite Spirale, die bei *f* austritt, in zwei polarisirte Strahlen α' und β' zerlegt, deren Schwingungsebenen mit *fg* die Winkel — 45° und + 45° bilden, so ist α' um $\frac{l}{8}$ voraus und β' um $\frac{l}{8}$ zurück. Mit der Linie *dg* bildet die Schwingungsebene von α den Winkel + 45° und die von α' mit *fg* den Winkel — 45°. Da diese beiden Systeme um $\frac{l}{8}$ voraus sind, so ist das aus ihnen resultirende System ein geradlinigt polarisirter Strahl *s*, dessen Schwingungsebene den Winkel x halbirt. Die Schwingungsebene von β bildet mit *dg* den Winkel — 45° und die von β' mit *fg* den Winkel + 45°. Da diese beiden Systeme um $\frac{l}{8}$ zurück sind, so ist das aus ihnen resultirende System ein polarisirter Strahl *s'*, dessen Schwingungsebene ebenfalls den Winkel x halbirt. Die Schwingungen der beiden Systeme *s* und *s'* halbiren also den Winkel x, und da *s* dem *s'* um $\frac{l}{8} + \frac{l}{8}$ oder $\frac{l}{4}$ voraus ist, so verstärken sie sich zu einem einzigen geradlinigt polarisirten Strahl, dessen Schwingungsebene den Winkel *dgf* halbirt oder mit *gh* zusammenfällt. Hätte also die Platte nur die Dicke *cg*, so wären die Schwingungen des Lichtstrahls *cg* beim Austritt aus derselben parallel mit *gh*. Die Schwingungen des austretenden Lichtstrahls würden also mit denen des eintretenden den Winkel *dgh* gleich der Hälfte der Verzögerung *dgf* bilden; um eben so viel müsste sich die jetzige Polarisations-Ebene zur vorigen neigen. Ist die Dicke des Bergkrystallplättchens gleich Null, oder so beschaffen, dass der Verzögerungsraum *df* eine, oder zwei, drei Umläufe beträgt, so wird die Polarisations-Ebene des austretenden Strahles mit der des eintretenden zusammenfallen. Wenn die Dicke des Plättchens zweimal so gross ist als *cg*, so muss der Winkel *dgf*, also auch *dgh* das Doppelte sein; das heisst, *die Polarisations-Ebene des austretenden Strahles hat sich um einen Winkel gedreht, welcher der Dicke der Platten proportional ist.* Indem nun dieser Strahl auf das Doppelspath-Prisma fällt, wird er in zwei Strahlen zerlegt, von denen der gewöhnlich gebrochene senkrecht zur Ebene des Hauptschnitts schwingt, und der ungewöhnlich gebrochene parallele Schwingungen mit ihm macht. Fällt daher die Ebene des Hauptschnitts mit der Polarisations-Ebene des violetten Strahls zusammen, so verschwindet das ungewöhnliche Bild desselben, während das gewöhnliche Bild ihn zeigt. Da nun die Drehungswinkel der anders farbigen Strahlen von dem der violetten verschieden sind, so können die aus ihnen entstandenen ungewöhnlichen Strahlen nicht zugleich mit dem ungewöhnlich gebrochenen violetten Strahle verschwinden. Im Tageslichte muss daher der ungewöhnliche Strahl, in welchem das Violett verschwunden ist, noch alle übrigen Farben enthalten, oder er muss die complementäre Farbe von Violett haben. Dasselbe gilt für jede andere Farbe, und es ist also dadurch die Erscheinung vollständig erklärt. *Fresnel* hat jedoch, um zu zeigen, dass eine den obigen Voraussetzungen gemässe Zerlegung des Lichtstrahls wirklich stattfindet, noch folgenden Versuch angestellt:

Er liess in ein Parallelepipedum von Crownglas, Fig. 401, dessen Winkel *b* und *d*, bei dem Brechungsverhältniss 1,51, gleich $54^1/_2{}^0$ waren, einen gewöhnlich polarisirten Lichtstrahl *ef* senkrecht einfallen; während das Parallelepipedum so gestellt war, dass die Ebene der innern Zurückwerfung unter 45° gegen die ursprüngliche Polarisation geneigt war. Nach zweimaliger Zurückwerfung in *f* und *g* trat der Strahl in *h* mit den Eigenschaften heraus, die ein kreisförmig polarisirter Strahl haben muss. Es wird nämlich der unter 45° gegen die Einfallsebene der reflecti-

Fig. 401.

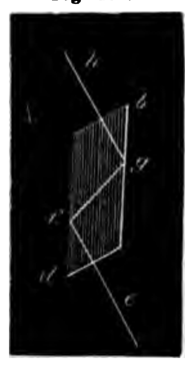
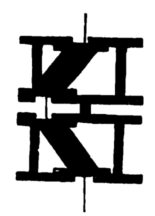


Fig. 402.

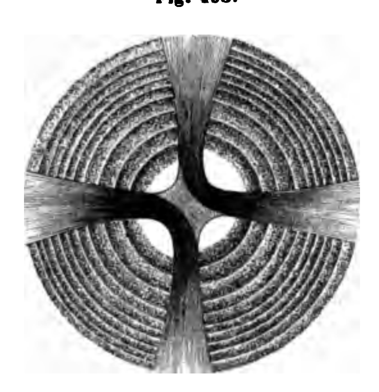


renden Fläche des Parallelepipeds polarisirte Strahl in zwei polarisirte Strahlen zerlegt, von denen der eine senkrecht, der andere parallel mit dieser Ebene schwingt, und die nach zweimaliger Reflexion, der Theorie gemäss, zwar gleiche Intensität, aber einen Gangunterschied von ¼ Wellenlänge zeigen müssen, indem jede Reflexion einen Unterschied von ⅛ Wellenlänge hervorbringt. Dieser kreisförmig polarisirte Strahl wird, durch eine abermalige, der ersten gleiche, doppelte Reflexion in einem Parallelepipedum von gleicher Art, wie das obige, wieder geradlinigt polarisirt, und seine Polarisations-Ebene ist zur letzten Reflexions-Ebene um 45° geneigt. Besitzt man zwei *Fresnel*'sche Parallelepipede, welche, wie in Fig. 402, gefasst sind, und auf den Ring *c* des Polarisations-Instrumentes (Fig. 365, S. 316) gestellt werden können, so kann man sich von dem oben Gesagten durch den Versuch leicht überzeugen. Auch durch ein Glimmerplättchen, dessen Achsen zu einander senkrecht sind, und welches eine solche Dicke hat, dass Licht von mittlerer Wellenlänge, also Gelb, in der Richtung der einen Achse schwingend, um ¼ Wellenlänge gegen gelbes Licht, das in der Richtung der andern Achse schwingt, verzögert wird, erhält man mittelst des Nörrenberg'schen Polarisations-Apparates kreisförmig polarisirtes Licht. Legt man auf dieses ein zweites Glimmerplättchen von gleicher Dicke, und sind die Achsen parallel, so entsteht wieder geradlinigt polarisirtes Licht, dessen Schwingungen senkrecht zu der ursprünglichen Polarisations-Ebene sind.

Betrachtet man wie in §. 283 ein Kalkspathplättchen, senkrecht zur Achse geschliffen, im convergirenden kreisförmig polarisirten Licht, so erscheinen die farbigen Ringe wie in Fig. 388 ohne das dunkle Kreuz; sie sind aber in den neben einander liegenden Quadranten wie in Fig. 403 verschoben. Diess ist ein Kennzeichen, dass das Licht kreisförmig polarisirt war.

Wird ein geradlinigt polarisirter Strahl unter einem bestimmten Einfallswinkel durch Reflexion von einem Metallspiegel, dessen Reflexions-Ebene unter 45° gegen die Polarisations-Ebene geneigt ist, zurückgeworfen, so ist er elliptisch polarisirt, und kann zwar auch durch eine zweite Reflexion von einem Metallspiegel, welcher dem ersten parallel ist, wieder in den Zustand der geradlinigten Polarisation zurückgeführt werden, aber die neue Polarisations-Ebene ist um weniger als 45° zur Reflexions-Ebene geneigt. Diess ist der wichtigste Unterschied zwischen dem kreisförmig und elliptisch polarisirten Strahle. Die deutlichste Probe vom Dasein der elliptischen Polarisation und ein Maass ihres Betrages erhält man auf folgende Art: Man bringe an die Stelle des schwarzen Spiegels *F* im *Nörrenberg*'schen Polarisations-Instrument, Fig. 365, S. 316, einen kleinen Metallspiegel, und betrachte das von diesem reflectirte und convergirend gemachte, polarisirte Licht in den verschiedenen Stellungen des Spiegels durch eine Turmalinplatte, so wird es, wenn die Reflexions-Ebene des Metallspiegels *F* mit der von *A* parallel ist, oder mit ihr einen rechten Winkel bildet, sich wie gewöhnliches geradlinigt-polarisirtes Licht verhalten. Bilden aber diese Ebenen einen Winkel von 45° und bringt man nun zwischen den Metallspiegel und das Auge eine Kalkspathplatte, senkrecht zur Achse geschliffen, und betrachtet man das von dem Metallspiegel reflectirte Licht durch die Turmalinplatte, so sieht man, wenn die Achse des Turmalins unter 45° gegen die Reflexions-Ebene geneigt ist, statt der regelmässigen Kreise und des schwarzen Kreuzes eine dunkle Hyperbel, zwischen deren Schenkeln die farbigen Kreise ohngefähr wie in der Fig. 403 verschoben sind.

Fig. 403.



Der polarisirte Strahl, welcher durch ein

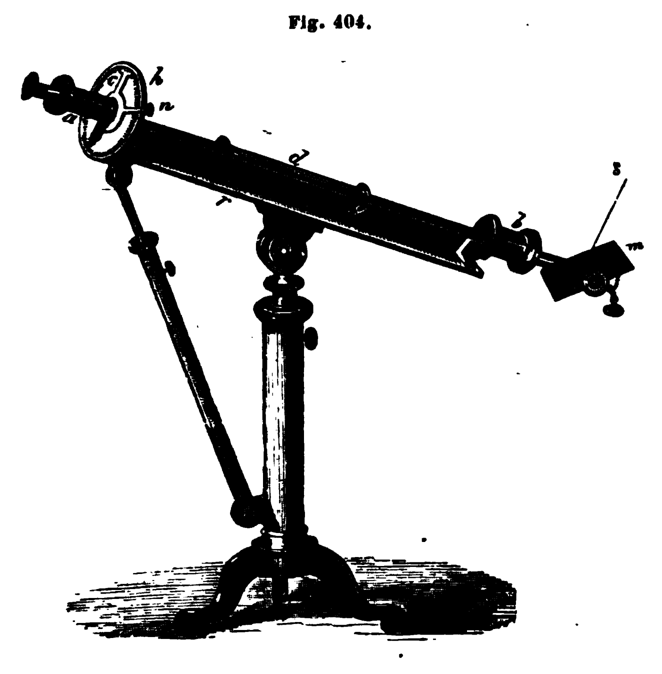
zur Achse senkrecht geschliffenes Bergkrystallplättchen gegangen ist, und dessen verschiedene Lichtarten also verschieden grosse Drehung erlitten haben, unterscheidet sich dadurch von dem geradlinigt polarisirten, dass bei dem im §. 283 beschriebenen Versuche, wenn man statt des Doppelspaths ein Bergkrystallplättchen nimmt, zwar die farbigen Kreise erscheinen, aber nahe an der Mitte kein dunkles Kreuz zeigen.

Eine sehr schöne Erscheinung nimmt man wahr, wenn man einen rechts und einen links drehenden Bergkrystall von gleicher Dicke auf einander legt und im Polarisations-Apparat betrachtet. Die Figur besteht in kreisförmigen Ringen mit vier krummen sichelförmigen Speichen. Man kann diesen Versuch auch mit *einer* Bergkrystallplatte anstellen, wenn man sie auf den Spiegel *B* im Polarisations-Instrument (Fig. 365) legt, die Linse *G* in ihrer Brennweite darüber stellt und nun durch einen Analyseur darauf herabsieht. Das Spiegelbild der Platte vertritt alsdann die Stelle einer zweiten von gleicher Dicke und entgegengesetztem Drehungsvermögen.

§. 285.

In den Flüssigkeiten ist das Vermögen, die Polarisations-Ebene des Lichtes zu drehen, viel geringer, als in dem Bergkrystall, und beträgt z. B. in dem concentrirten Rohrzucker 36mal weniger. Desshalb muss man Röhren von 10 bis 30 Centim. Länge anwenden, um es zu untersuchen. Hierauf beruht der Polarisations-Apparat für Flüssigkeiten von *Biot*, Fig. 404. Er besteht aus einer Rinne *g* von Metall, die auf einem Brettchen *r* befestigt ist. An dem einen Ende in *m* ist ein schwarzes Glas als Polarisator so angebracht, dass das polarisirte Licht längs der Achse *ab* der Rinne fortgeht und horizontal schwingt. An dem andern Ende ist ein getheilter Kreis *h* befestigt, in dessen Mitte ein achromatisches Doppelspathprisma steckt, welches man mit Hilfe des Hebelarms *n* um die Achse des Instrumentes drehen kann. An die Hülse, in der es steckt, ist eine Alhidade *c* mit einem Nonius befestigt, um den Winkel zu messen, um den es gedreht wurde. Ein kleines holländisches Fernrohr, welches in der Röhre *a* steckt, kann man so einstellen, dass man ein deutliches Bild der kreisförmigen Oeffnung in dem Rohr *b* wahrnimmt. Die zu untersuchende Flüssigkeit befindet sich in einer Glasröhre *d*, von 20 Cent.

Fig. 404.

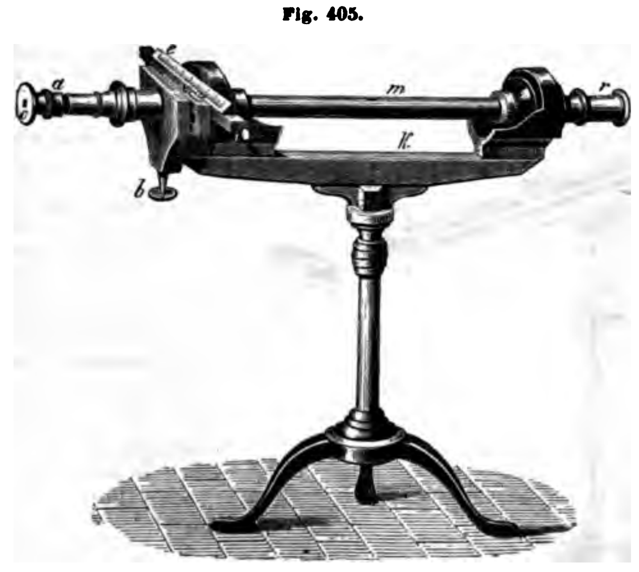


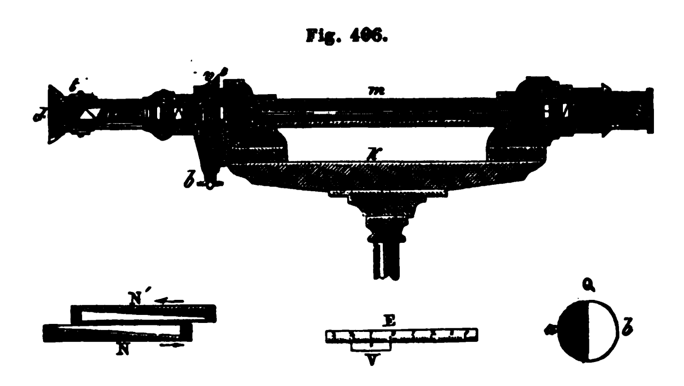
Länge, welche an beiden Enden durch ebene Glasplatten geschlossen und zur Abhaltung fremden Lichtes in eine Röhre von Messing eingeschlossen ist. Vor das Auge wird bei den Beobachtungen ein monochromatisches rothes Glas gehalten, um nur für *eine* Gattung Licht die Grösse der Drehung zu messen.

Das Doppelspath-Prisma steckt so in der Hülse *a*, dass der Nonius auf Null steht, wenn das ungewöhnliche Bild der Oeffnung in *b* verschwindet, nachdem die Röhre *d* entfernt ist. Ebenso ist es, wenn Wasser oder eine nicht drehende Flüssigkeit sich in ihr befindet. Füllt man aber die Röhre mit einer Lösung von Candiszucker oder einer andern drehenden Flüssigkeit, so erscheint das ungewöhnliche Bild wieder, und man muss die Alhidade um einen gewissen Winkel rechts oder links drehen, bis es abermals verschwindet. Die Menge des Zuckers ist alsdann dem Drehungswinkel proportional bei Röhren von gleicher Länge, und bei verschiedenen Röhren und einerlei Lösung der Länge dieser Röhren. Hierauf beruht die Anwendung eines ähnlichen Instrumentes in der Zuckerfabrikation als *Saccharimeter*. Es kann aber obiger Apparat auch zu vielen anderen wissenschaftlichen Versuchen über die Polarisation des Lichtes benutzt werden.

Das *Saccharimeter* von *Soleil,* welches in Fig. 405 abgebildet ist, besteht aus der Röhre *m*, dem Polarisator *r*, dem Analyseur *a* und dem Compensator *v*, welche in Fig. 406 abgebildet sind. Vor die kreisförmige Oeffnung *s* wird eine Moderateurlampe als Licht-Quelle aufgestellt. Ein Lichtstrahl, der in der Achse des Instrumentes fortgeht, fällt zuerst auf das Doppelspathprisma *r*, welches als Polarisator dient. Von den beiden Bildern kommt nur das ungewöhnliche in's Auge des Beobachters bei *d*, weil das gewöhnliche von der Achse zu weit abgelenkt wird. Die Schwingungen des ungewöhnlichen Strahles seien vermöge der horizontalen Stellung des Hauptschnitts von *r* horizontal. Nach dem Austritt aus *r* geht der Lichtstrahl durch eine runde Doppelplatte von Quarz, die wie Fig. 406 *Q* zeigt, aus zwei gleichdicken halbkreisförmigen Quarzplatten *a* und *b* zusammengesetzt ist, wovon die eine rechts, die andere links dreht. Beide haben die Dicke von 3,75 Millim. und geben also nach der Zerlegung durch ein Doppelspathprisma, dessen Hauptschnitt vertikal ist, in dem ungewöhnlichen Bilde, nach §. 284, die *Teinte de passage*. Durch diese Quarzplatten erscheint nämlich nach dem Obigen diese Mischfarbe nur unter einem Drehungswinkel von 90° nach rechts oder links, so dass nun die beiden Hälften *a* und *b* in dem ungewöhnlichen Bild mit dieser Farbe vollkommen gleich und in dem gewöhnlichen Bild gelb erscheinen, ehe eine

Fig. 405.





neue Drehung durch die in der Röhre *m* befindliche Flüssigkeit erfolgt. Aus dieser Röhre gelangt der Lichtstrahl auf eine einfache senkrecht zur Achse geschliffene Quarzplatte *i* von etwa 5 Millim. Dicke, von da auf den Compensator *n*. Dieser besteht, wie die Figur (unten links) zeigt, aus zwei gleichen keilförmigen Stücken Quarz *N'* und *N*, welche beide das entgegengesetzte Drehungsvermögen von *i* haben. Indem sie nach der Richtung der Pfeile über einander geschoben werden, bilden sie in der Mitte gleichsam eine einzige Platte mit parallelen Flächen, deren Dicke zunimmt. Verschiebt man sie in entgegengesetzter Richtung, so nimmt ihre Dicke ab. Bei einer gewissen Stellung haben sie in der Mitte zusammen die Dicke von *i* und heben also dessen Wirkung auf. Dieses Verschieben wird durch den Knopf *b* bewirkt, der auf der Achse eines Triebes steckt, welcher mit seinen Zähnen in die Zähne der Rähmchen eingreift, in welche die beiden Quarze *N* und *N'* gefasst sind. Eine Scala *E* und ein Nonius *V*, die auf den angegebenen Rähmchen angebracht sind, geben die Grösse dieser Verschiebung an. Ist nun z. B. durch die Flüssigkeit *m* eine Drehung rechts erfolgt, und dreht *i* ebenfalls rechts, so müssen die links drehenden Keile *N* und *N'* so lange über einander geschoben werden, bis ihr Ueberschuss über die Dicke von *i* die Drehung der Polarisations-Ebene durch *m* wieder aufhebt oder bis die beiden Hälften *a* und *b* von *Q* wieder gleiche Farben zeigen.

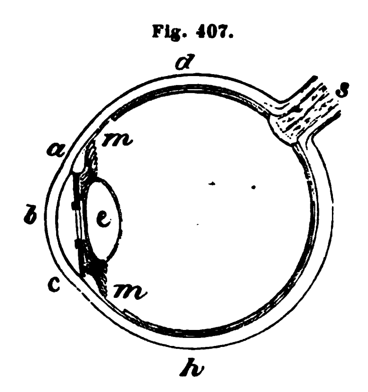
Hinter dem Compensator tritt das Licht in ein Doppelspath-Prisma *c* und von da in ein kleines Fernrohr *ao*, durch welches die beiden Bilder von *Q* deutlich gesehen werden. In diesen sind die Hälften *a* und *b* gleich gefärbt, wenn die Röhre *m* weggenommen ist und die Compensationsplatten *N* und *N'* zusammen gleiche Dicke mit *i* haben oder der Nonius auf Null steht. Ist aber in der Röhre *m* eine drehende Flüssigkeit, durch welche der Lichtstrahl gehen muss, so wirkt diese Drehung entweder im gleichen Sinn mit *N* und *N'* oder mit *i*. Die Hälften *a* und *b* der beiden Bilder von *Q* sind alsdann ungleich gefärbt und man muss die Keile des Compensators um eine gewisse Grösse verschieben, bis die Farben von *a* und *b* wieder gleich sind. Die Richtung dieser Verschiebung gibt die Art der Drehung, und die Grösse gibt die Quantität des Zuckergehaltes an. Ist die Flüssigkeit gefärbt, so ist oft das Auge für die entstehende Farbe weniger empfindlich und der Unterschied der beiden Bilder von *a* und *b* weniger leicht wahrzunehmen. In diesem Falle versucht man farbige Gläser, durch welche das Licht gehen muss, bis man diejenige Farbe gefunden hat, bei welcher das Auge am leichtesten die beiden Bilder *a* und *b* noch als verschieden unterscheidet. Soleil hat aber bei *a* und *f* statt der farbigen Gläser noch eine Vorrichtung angebracht, die er den Illuminateur nennt, in welchem die Farben, wie schon früher gezeigt, beliebig verändert werden können durch Drehung eines Doppelspath-Prisma's vor einer Quarzplatte *f*. Die nähere Beschreibung dieses Apparates, so wie die Art, wie aus den Angaben des Nonius die Menge des Zuckers in einer Lösung oder im Saft der Rüben etc., oder bei dem Diabetes im Urin angegeben wird, muss man in der jedem solchen Instrumente beigegebenen Anleitung nachlesen.

I. Vom Sehen und von den optischen Instrumenten.

§. 286.

Der wichtigste Theil unseres Sehorganes ist der *Augapfel*, Fig. 407. Diess ist ein rundlicher Körper, der von der *harten Haut abchd* eingeschlossen und grösstentheils mit Feuchtigkeit angefüllt ist. Der vordere und stärker gekrümmte Theil *abc* ist durchsichtig, und heisst die *Hornhaut* (cornea), der grössere undurchsichtige Theil der harten Haut *adhc*, heisst die *weisse Haut* (scelerotica). Das Innere des Augapfels ist durch die Krystalllinse *e* und den sie haltenden Faltenkranz *mm* in zwei sehr ungleiche Räume oder Kammern getheilt. Die vordere oder kleinere Kammer ist mit der *wässerigten*, die hintere mit der *Glas-Feuchtigkeit* angefüllt, und heisst darum auch der *Glaskörper*. Beide Flüssigkeiten unterscheiden sich in ihrem Brechungsvermögen nur wenig von dem Wasser. Im innern Raume des Glaskörpers ist die weisse Haut mit der *Gefäss-* oder *Aderhaut* bedeckt, deren innere Seite mit einem schwarzen, schleimartigen Pigmente überzogen ist, um die Zurückwerfung des Lichtes zu verhindern; die Aderhaut geht bis zur Hornhaut oder bis zum Strahlenbande, aus welchem der Faltenkranz entsteht. Sie haftet bei *a* und *c* fest an der harten Haut in einer ringsum gehenden doppelten Furche der letzteren. Zwischen der Krystalllinse und der Hornhaut liegt dicht auf ersterer die *Regenbogenhaut* oder *Iris*, die verschiedene Farben hat. In der Mitte derselben ist ein kreisförmiges Lichtloch, die *Pupille*. Diese verengt sich sowohl, wenn man aus dem Dunkeln in's Helle kommt; als auch, wenn man die beiden Augenachsen nach Innen oder auf einen nahen Gegenstand richtet, ohne dass jedoch diese Zusammenziehung unserem Willen untergeordnet ist. Der *Sehnerv* *s* tritt auf der hintern Seite des Augapfels in denselben und breitet sich als *Netzhaut* in unendlich feinen Verzweigungen über der Aderhaut aus. Die Krystalllinse liegt in einem zarten durchsichtigen Häutchen, der *Linsenkapsel*, und ist auf der hintern Seite stärker convex als auf der vordern. Sie besteht aus mehreren kapselförmig sich umschliessenden Schichten, die um so mehr der Kugelform sich nähern, je kleiner sie werden.

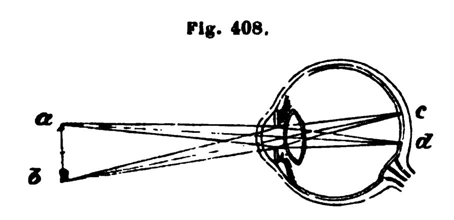
Fig. 407.



§. 287.

Das Sehen erfolgt durch den Stoss, welchen die Schwingungen der Aethertheilchen auf die Netzhaut ausüben. Dieser wird dadurch verstärkt, dass von jedem Punkte *a* oder *b*, Fig. 408, eines gegebenen Gegenstandes, ein Strahlenbüschel auf die convexe Hornhaut fällt, welcher nach denselben Gesetzen, die bei convexen Gläsern entwickelt wurden, zuerst durch die wässerigte Feuchtigkeit, dann noch stärker beim

Fig. 408.



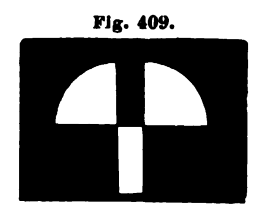
Eintritt in die Krystalllinse und beim Austritt aus derselben gebrochen, und zuletzt in den Punkten *d* und *c* auf der Netzhaut vereinigt wird. Da die Lichtstrahlen von einem nahen Punkte durch ein convexes Glas später vereinigt werden als die von entfernten Punkten kommenden, so gibt es auch eine Nähe, in welcher wir ein Object nicht mehr deutlich sehen können. In weniger als 1 Zoll Entfernung sieht wohl kein Auge deutlich. In einem Abstand von 1 Viertelmeter aber sehen die meisten Personen schon hinreichend scharf; daher heisst auch dieser Abstand die *Weite des deutlichen Sehens.* Versteht man aber auch darunter die Entfernung, in welcher man am *deutlichsten* sieht, oder deren Vereinigungsweite dem Stande der Netzhaut am besten entspricht, so muss man 5 bis 10 Fuss dafür annehmen. Die Ursache, warum dasselbe Auge in der Nähe so wie in der Ferne deutlich sehen kann, oder die *Accommodation* des Auges, erhält auf folgende Art ihre wahrscheinliche Erklärung: Das Sehen in die Nähe und die Ferne findet nicht gleichzeitig, sondern nur abwechselnd statt. Einen schwarzen Punkt auf der Fensterscheibe und einen in gleicher Richtung befindlichen Blitzableiter kann man mit *einem* Auge nicht zu gleicher Zeit deutlich sehen. Beim Nahesehen ist die vordere Linsenfläche stärker gewölbt und beim Fernsehen ist sie flacher, wie folgender Versuch von *Cramer* zeigt: Hält man eine Lichtflamme vor das Auge eines Andern, so sieht man zwei aufrechte Bildchen in demselben und ein verkehrtes. Das erste rührt von der Reflexion auf der vorderen Hornhaut, das zweite von der auf der vorderen Linsenfläche, das dritte von der auf der hinteren Linsenfläche her. Beim Nahesehen wird das zweite Bildchen sehr viel kleiner, also hat die Convexität der Linse zugenommen. Zugleich wird die Iris nach vorne gedrängt und die Pupille enger. Den Mechanismus, welcher diese Veränderung der Linse hervorbringt, kennt man noch nicht näher.

Dass das Auge nicht vollkommen achromatisch ist, geht aus *Fraunhofer's* Beobachtungen am deutlichsten hervor. In der That sieht man durch ein 3 Millim. grosses Loch, das man in 15 bis 20 Centim. Entfernung vom Auge gegen den hellen Himmel hält, die Ränder farbig, und auch um helle Oeffnungen in dem Fensterladen u. dgl. Das Bild auf der Netzhaut ist, wie alle Bilder, die auf die obige Art entstehen, verkehrt; unsere Gewohnheit belehrt uns über die wahre Stellung der Gegenstände, indem wir sie auch für aufrecht halten, wenn wir zwischen unsern Beinen durchsehen. Die Ursachen des undeutlichen Sehens müssen bald dem Mangel an hinreichender Helle eines Gegenstandes und seiner zu grossen oder zu kleinen Entfernung, oder der zu kurzen Dauer des Lichteindruckes zugeschrieben werden, aber sie können auch in Fehlern des Organes liegen. Die wichtigsten sind: die Verdunklung der Krystalllinse, wie beim grauen Staar, die Kurzsichtigkeit, die Weitsichtigkeit und das Falschsehen. Bei Kurzsichtigen ist die Accommodation des Auges unvollständig, indem die Lichtstrahlen von entfernten Gegenständen vor der Netzhaut vereinigt werden, und diese müssen sich

daher einer concaven Brille bedienen, welche der Vereinigung der Lichtstrahlen entgegenwirkt. Bei Fernsichtigen werden die Lichtstrahlen naher Objecte so gebrochen, dass sie sich erst hinter der Netzhaut vereinigen würden, und sie müssen daher durch ein convexes Glas stärker convergirend gemacht werden. Ebenso ist es, wenn die Krystalllinse bei Heilung des grauen Staars entfernt worden ist. Das falsche Sehen besteht entweder in dem Sehen kleiner fliegender Punkte u. dgl., oder darin, dass man Gegenstände anders sieht als sie sind. Die fliegenden Punkte und Perlschnüre im Auge rühren theils von kleinen Körpern her, die sich in der Glasfeuchtigkeit befinden, und ihren Schatten auf die Netzhaut werfen, theils aber auch sind sie Anschauungen des Blutumlaufs in den feinsten Gefässen der eigenen Netzhaut. Auch gesunde Augen unterliegen periodisch diesen, oft nur von vorübergehenden Zuständen herrührenden Mängeln. Das unrichtige Sehen kommt zuweilen daher, dass die Hornhaut nicht sphärisch, sondern ellipsoïdisch gekrümmt ist. *Airy* hat gezeigt, wie durch eine doppelt concave Linse, bei der eine Oberfläche sphärisch, die andere cylindrisch ist, diesem von der unregelmässigen Gestalt der Hornhaut herrührenden Gesichtsfehler abgeholfen werden kann.

Wenn Licht von einer stärker erleuchteten Fläche auf die Netzhaut fällt, so wirkt es nicht bloss auf die getroffene Stelle, sondern auch auf die nächste Umgebung derselben, wie man daraus sieht, dass ein schmaler heller Streifen neben einem gleichbreiten dunkeln Streifen breiter erscheint, ferner, dass die Sichel des Mondes einer grösseren Kugel anzugehören scheint als der dunkle Theil desselben. Diese Erscheinung nennt man die *Irradiation*, und *Plateau* hat gefunden, dass sie mit der Helle des Gegenstandes und der Lichtdifferenz desselben mit den ihn umgebenden Körpern wächst. Desshalb muss sie auch an dem Berührungspunkte zweier gleichhellen Gegenstände verschwinden. Sie nimmt mit der Dauer des Lichteindrucks zu, und ist nicht bei allen Personen gleich gross. Man kann sie sehr leicht zur Anschauung bringen, indem man nebenstehende Fig. 409 aus einem Kartenblatt schneidet, und zwischen das Auge und einen hellerleuchteten Gegenstand bringt. Das helle Rechteck erscheint alsdann breiter, als der zwischen den beiden hellen Viertelskreisen befindliche Streifen.

Fig. 409.



Das verkehrte Bild auf der Netzhaut kann man nachweisen, indem man ein frisches Ochsenauge von allem Fette entblösst und die weisse Haut so weit verdünnt, dass sie durchscheinend wird und einen hell leuchtenden Gegenstand vor die Hornhaut stellt, oder noch besser mit einem Kaninchen-Auge, welches die Eigenschaft der Albinos hat, weil diesen das schwarze Pigment fehlt. Damit ein verkehrtes Bild entsteht, müssen sich die Hauptstrahlen im Auge durchkreuzen. Diess findet beim menschlichen Auge, in einer Entfernung von 9 Millim. vom Hornhautscheitel, also noch innerhalb der Krystalllinse, und 13 bis 14 Millim. von der Netzhaut statt.

Nicht alle Theile des Bildchens auf der Netzhaut erscheinen uns gleich deutlich, welches von der verschiedenen Empfindlichkeit der einzelnen Stellen derselben herrührt. Der empfindlichste Theil der Retina hat einen Durchmesser von etwa $^1/_5$ Linie und heisst der *gelbe Fleck*. Er liegt in der Mitte der Sehachse. Vermöge dieser Einrichtung werden wir veranlasst, beim genauen Betrachten eines Gegenstandes beide Augen so zu stellen, dass ihre Achsen nach demselben gerichtet sind, indem nur dann beide Bildchen des Gegenstandes volle Deutlichkeit erlangen kön-

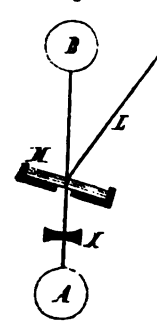
nen. Auch werden dadurch Doppelbilder vermieden, indem sich nur diese Bilder zu einer Einheit im Bewusstsein vereinigen.

Aber nicht nur von der Lage der Bilder in der Nähe der Augenachse, sondern auch von der Farbe und Grösse der Bilder, hängt ihre Wahrnehmbarkeit ab. So erscheint nach *Fechner* auf schwarzem Grund ein gelbes Quadrat noch farbig unter einem Sehwinkel von 39''; ein hellblaues aber erst unter 68''. Das Auge ist für die eine Farbe z. B. für Roth weitsichtiger als für Blau. Auch hat der umgebende Grund Einfluss auf das Erscheinen der Farbe.

Liegt ein Lichtpunkt sehr nahe vor dem Auge, so müssen die von ihm in das Auge dringenden Strahlen darin parallel werden. Nach *Listing* liegt dieser Punkt ohngefähr um den halben Durchmesser des Augapfels vor der Cornea. Bringt man darum in diesem Abstand einen Schirm vor das Auge, in dem ein Loch von 0,1 mm Durchmesser ist, so fallen die Schattenbilder der fliegenden Punkte und Perlschnüre in natürlicher Grösse auf die Netzhaut und können deutlich unterschieden werden. Durch Aenderung in der Lage des Schirmlochs erkennt man die Lage dieser und noch anderer Flecken, die durch das Krauswerden der Hornhautfläche, durch ungleiche Benetzung der Hornhaut u. s. w. entstehen.

Den Augengrund, die Verästelung der Netzhaut-Gefässe und selbst den gelben Fleck am eigenen Auge kann man nach *Purkinje* wahrnehmen, wenn man im dunkeln Zimmer eine Flamme am Auge nahe hin und her bewegt; ein fremdes Auge aber untersucht man mit dem Augenspiegel von *Helmholtz*, Fig. 410, der im Wesentlichen aus Folgendem besteht: Eine Schichte von drei dünnen Glasplättchen M, welche in ein Blech gefasst sind, das in der Mitte ein kleines Loch hat, wird vor das Auge des Beobachters A so gehalten, dass das Licht einer Lampe L zum Theil von ihr in das zu untersuchende Auge B in der Richtung AB zurückgeworfen wird. Von dem so erleuchteten Augengrund in B gehen die reflectirten Strahlen zum Theil convergirend nach A. Desshalb muss man eine concave Linse X vor A halten, um die Einzelnheiten des Augengrundes in B zu sehen. Um die Pupille von B zu erweitern, wird zwischen das Augenlied und den Augapfel ein Tropfen Belladonna-Extract gebracht. *Jäger* wendet statt der Glasplättchen ein metallenes Hohlspiegelchen an, das in der Mitte ein Loch hat. Nach *J. Müller* hat man in dem Bau der Netzhaut mehrere Schichten anzunehmen. Die äusserste Schichte besteht aus mikroscopischen Stäbchen und Zäpfchen, die mit der innersten Schichte, welche aus den Fasern des Sehnervs besteht, vermittelst mehrerer Zwischengebilde zusammenhängt. Diese Stäbchen sind höchst wahrscheinlich allein unmittelbar empfindlich für das Licht und nicht der Sehnerv selbst.

Fig. 410.



Einen merkwürdigen Beweis von der bewunderungswürdigen Einrichtung unseres Auges gibt die von *Haidinger* entdeckte und im §. 277 erwähnte Fähigkeit desselben, polarisirtes Licht vom unpolarisirten zu unterscheiden und selbst die Richtung der Schwingungen zu erkennen. Diese Fähigkeit beruht nicht, wie *Jamin* angenommen hat, auf der schichtenförmigen Zusammensetzung der Krystalllinse, sondern, wie *Brewster* sehr wahrscheinlich gemacht hat, auf der Structur der Netzhaut. Wären die Schichten der Linse der Grund, so könnte man durch ein sehr feines Löchelchen in einem vor das Auge gehaltenen Kartenblatt die *Haidinger*'schen Streifen nicht mehr sehen.

Um die geringste Weite des deutlichen Sehens ohngefähr zu messen, mache man in einem Kartenblatt zwei feine Nadelstiche neben einander oder zwei parallele kleine Spalten, welche durch einen $^2/_5$ Linien breiten Streifen des Kartenblattes getrennt sind, und halte diese Oeffnungen dicht vor das Auge. Bringt man nun eine feine Spalte in einem andern Kartenblatt dieser Oeffnung sehr nahe, so sieht man die Spalte doppelt, weil die Lichtstrahlen, welche durch die beiden Oeffnungen gegangen sind, sich nicht auf der Netzhaut, sondern hinter ihr schneiden. Entfernt man aber jene Platte nach und nach, so findet man den Abstand, in welchem die beiden Bilder in eins zusammenfallen und ein deutliches Bild geben. Dieser Versuch ist von *Scheiner*. Das *Optometer* von *Stampfer* gründet sich darauf. Macht man nur *ein* feines Loch in das Kartenblatt, so sieht man nahe und ferne Gegenstände gleich gut und selbst in der allergrössten Nähe.

Zu genauen Messungen über den Krümmungshalbmesser der Hornhaut und alle Abweichungen derselben von der sphärischen Gestalt, dient das *Ophthalmometer* von *Helmholtz*.

Bei dem Gebrauche von Brillen muss man vorsichtig sein, und besonders auf ihre genaue sphärische Krümmung, und bei gleich guten Augen auf die Gleichheit ihrer Brennweite sehen. Man muss die Brille so wählen, dass die Weite des deutlichen Sehens damit ebenfalls $^1/_4$ Meter wird, und muss die Gläser nahe an's Auge bringen. Die Härte des Glases hat keinen Einfluss, wenn es nur rein ist. Statt der aus farbigem Glase geschliffenen Brillen bedient man sich besser der isochromatischen Gläser, welche aus weissem Glase bestehen, an welches eine gleichdicke Schaale von blauem Glase gekittet ist. Sogenannte periscopische Brillen oder aus Menisken bestehende, spiegeln zu sehr. Unter dem Wasser verhält sich das Auge wie bei den Fernsichtigen, daher muss man eine Linse von etwa $^1/_2$ Zoll Brennweite gebrauchen, indem die Brechung aus Wasser in's Auge schwächer ist, als aus Luft. Mit einer solchen Linse sieht man deutlich im klaren Wasser, und ohne einen unbequemen Reiz zu empfinden. Grosse Druckschrift kann man auch ohne sie lesen. Bei Fischen ist aus der obigen Ursache die Krystalllinse beinahe kugelförmig. Thiere, welche abwechselnd im Wasser und in der Luft leben, wie viele Insekten, könnten darum nicht in jedem Mittel deutlich sehen, wenn ihre Augen nicht dadurch unabhängig von der Brechkraft wären, dass sie aus vielen Facetten bestehen, die durch eben so viele Kanälchen getrennt sind und nur das senkrecht auffallende Licht zu der convexen Netzhaut gelangen lassen; dadurch entsteht dort ein mosaikartiges Bild.

Die Stelle der Netzhaut, an welcher der Sehnerv in's Auge tritt, oder das punctum coecum, ist für den Eindruck, welchen die nächstliegenden Theile der Netzhaut erleiden, empfindlicher, als für die direkten Eindrücke des Lichtes, und man glaubte desshalb, es sei für das Licht unempfindlich. Legt man auf ein schwarzes Papier zwei weisse Oblaten in zwei Zoll Entfernung von einander, und sieht man mit dem rechten Auge in senkrechter Stellung auf die links liegende Oblate herab aus einer Entfernung, die ohngefähr fünfmal so gross ist, als der Abstand der beiden Oblaten, während man das linke Auge geschlossen hält, so findet man die Lage, in welcher man die rechts liegende Oblate nicht wahrnimmt, weil die von ihr kommenden Lichtstrahlen auf das punctum coecum fallen. Die kreisförmige Erweiterung der Pupille im Dunkeln und ihre Verengung im Hellen kann man durch eine Kautschuckplatte versinnlichen, die in der Mitte ein Loch hat, und die man über einen Ring bald mehr bald weniger ausspannt.

Die Brechungsverhältnisse der verschiedenen Theile des Auges sind nach *Brewster* und Andern: für die Hornhaut 1,3507, wässerige Flüssigkeit 1,3420, Glasfeuchtigkeit 1,3485, äussere Linsenschicht 1,4053, mittlere 1,4294, Linsenkern 1,4541.

Wenn man sich bückt oder unter dem Arm durchsieht, so erscheinen die Farben von Landschaften, besonders das Blau und Purpur entfernter Gebirge, sehr verschönert. *Brewster* glaubt, dass die Umkehrung des Kopfes eine grössere Menge Blut in die Gefässe des Augapfels treibt und dadurch einen Druck auf die Netzhaut veranlasst, welcher die Empfindlichkeit derselben erhöht.

§. 288.

Beim Sehen entfernter Gegenstände sind entweder beide Augenachsen parallel oder nicht; im letzteren Falle schielt man. Aus dem grössern oder kleineren Winkel, welchen die beiden Augenachsen mit einander bilden, wenn sie auf *einen* Gegenstand gerichtet sind, der auch der *optische* Winkel und der *Gesichtswinkel* genannt wird, erkennen wir mit grosser Fertigkeit, ob dieser Gegenstand nahe oder entfernt ist, und in welcher Richtung er liegt, wie man daran sieht, dass es z. B. schwer hält, mit der Spitze einer Nadel in einen kleinen Kreis zu treffen, wenn *ein* Auge geschlossen ist. Die Gewohnheit, meistens nur auf nahe liegende Gegenstände zu sehen, kann aber leicht die Folge haben, dass nur eins der beiden Augen regelmässig gebraucht wird, indem sonst beide Augenachsen einen Winkel mit einander machen müssten. Auch

spricht dafür die Erscheinung, dass bei vielen Menschen die Weite des deutlichen Sehens an beiden Augen verschieden ist; ferner, dass wenn ein dunkler Gegenstand andere wenig erleuchtete Objecte in dem einen Auge bedeckt, das andere Auge diesen Gegenstand nicht eher wahrnimmt, als bis man das erstere schliesst. Es sei z. B. *a*, Fig. 411, das linke, *b* das rechte Auge und *c* ein Finger, welcher beim Schliessen des linken Auges den Punkt *d*, und beim Schliessen des rechten Auges den Punkt *e* bedeckt; *d* und *e* seien z. B. die Kamine der über der Strasse liegenden Häuser. Nur in wenigen Fällen wird man bemerken, dass der Punkt *d* oder *e* wirklich nicht gesehen wird, weil das Bild im Auge *a* oder *b* nicht zum Bewusstsein kommt. Daraus könnte man schliessen, man sehe immer mit beiden Augen. Den Finger *c* wird man aber, wenn man keine besondere Aufmerksamkeit auf die Nothwendigkeit richtet, dass er in dem Auge *b* links von *e*, und in dem Auge *a* rechts von *d*, also doppelt erscheinen müsse, immer einfach sehen, und zwar mit dem Auge, welches man am meisten für nahe Gegenstände gebraucht. Das andere Auge, welches ein deutliches Bild von *d* gibt, wird gerade darum ein undeutliches Bild von *c* geben, weil dieses näher ist. Wir nehmen wahrscheinlich aus diesem Grunde das letzte nicht in unser Bewusstsein auf. Unser Urtheil, dass nur *ein* Finger da sei, hat hierauf offenbar auch Einfluss. Wie wichtig jedoch der Gebrauch beider Augen ist, hat *Wheatstone* durch das von ihm erfundene *Stereoscop*, Fig. 412, bewiesen. Zwischen drei senkrechten Wänden, deren Grundriss *pqrs* ist, befinden sich zwei unter einem rechten Winkel befestigte Spiegel *nm* und *no*. An der Vorderseite *qr* sind für die beiden Augen die Oeffnungen *a* und *a'* angebracht. Wird nun z. B. eine abgestumpfte Pyramide, deren Spitze gegen das Auge gerichtet ist, so abgebildet, wie sie in der Entfernung *ae* vom linken Auge *a* gesehen werden muss, also wie in *g*, und bildet man sie auch so ab, wie sie sich in gleicher Entfernung dem rechten Auge *a'* darstellt, also wie in *g'*, und befestigt man die beiden Bilder *g* und *g'* an den Wänden *rs* und *pq* in *d'* und *d*, so nimmt man in der Richtung von *e* nur ein Bild wahr, welches ein im höchsten Grade täuschendes Relief der Pyramide ist. Es muss hiebei die Entfernung *ab* + *bd* der Linie *ae* gleich sein. Verwechselt man die beiden Bilder in der durch *g* und *g'* angegebenen Lage, so glaubt man eine vertiefte Pyramide zu sehen, deren Spitze vom Auge abgewendet ist. Man sieht daraus, dass es leicht ist, nach den Regeln der gewöhnlichen Perspective Zeichnungen zu andern Beispielen zu entwerfen; also auch Reliefe von Ornamenten, Statuen u. dgl. Bringt man an die Stelle der obigen Zeichnungen zwei Lichtbilder von demselben Gegenstande, die so auf-

Fig. 411.

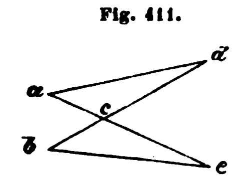
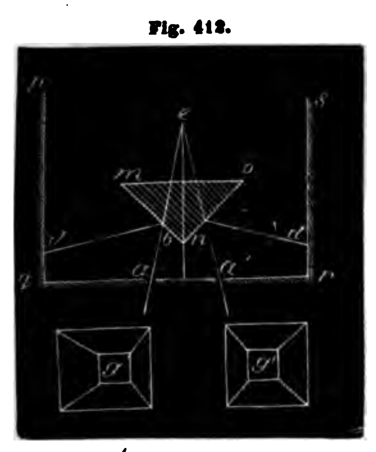


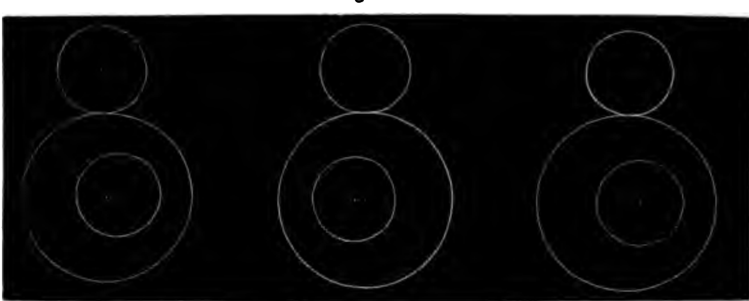
Fig. 412.



genommen sind, wie sie in der gehörigen Entfernung für's rechte und linke Auge erscheinen würden, so bringen diese einen äusserst lebhaften Eindruck hervor. Abbildungen von Büsten, Porträts und andern erhabenen Gegenständen erscheinen wie Modelle. Der Gebrauch beider Augen erhöht auch die Helle, denn bringt man zwei weisse Blätter an die Stelle der Bilder in das Stereoscop, so erscheint das Bild heller, wenn man mit beiden, als wenn man nur mit einem hineinsieht. Werden aber zwei verschieden gefärbte Papiere in das Stereoscop gebracht, so entsteht nach *Seebeck* eine Mischfarbe, wie wenn man mit beiden Augen durch zwei verschieden gefärbte Gläser sieht. Vollkommen complementäre Farben, wie sie durch die in §. 282 beschriebenen Versuche hervorgebracht werden, geben nach *Dove* auf diese Art weiss.

Eine sehr einfache Art von Stereoscop ist später von *Brewster* angegeben worden. Folgender Versuch genügt, um eine genaue Vorstellung davon zu erhalten: Man schneide eine convexe Linse von ohngefähr 15 Centim. Brennweite mitten durch, und nachdem man die beiden Stücke in der Stellung D Ɑ in einem Brettchen befestigt hat, dass ihr Abstand dem der beiden Augen gleich ist, halte man diese Gläser so vor die letztern, dass die nachstehende Zeichnung, Fig. 413, deutlich gesehen wird. Befindet sich die Mitte des Abstands beider Augen senkrecht über der

Fig. 413.



Mitte zwischen der ersten und zweiten Figur, so sieht man nur *eine* Figur, und zwar einen erhabenen Kegel, der aus dem Papier hervorragt. Ist aber diese Mitte senkrecht über dem Mittelpunkt zwischen der zweiten und dritten Figur, so erscheint ein vertiefter Kegel. Im ersten Fall meint man den innern Kreis kleiner zu sehen als den gleichgrossen, welcher an den Rand des grossen Kreises gezeichnet ist, weil er unter gleichem Sehwinkel erblickt wird, aber näher zu sein oder über dem Papier zu schweben scheint. Im zweiten Fall sieht der innere Kreis grösser aus als der am Rande, weil er tiefer als das Papier zu liegen scheint. Aus derselben Ursache glauben wir, der Mond sei kleiner, wenn er hoch am Himmel steht, und grösser, wenn er im Horizont gesehen wird; indem wir ihn im ersten Fall vor die Himmelssphäre, im zweiten hinter dieselbe versetzen. Eben so ist es auch mit unserem Urtheil über die Grösse der Sonne. Dieser Apparat liefert zugleich den Beweis, dass unsere Augen stets ein Bestreben haben, zwei zusammengehörende Bilder in einem einzigen zu vereinigen. Die Wirkung des Sehens mit zwei Augen ist überdiess die, dass man heller sieht, als mit

einem. Betrachtet man durch zwei innen geschwärzte Röhren, deren Richtungslinien sich vor dem Gesicht durchschneiden, zwei gleiche und helle Scheibchen, so sieht man nur eine, die grösser und entfernter scheint, wenn der Durchschnittspunkt der Röhren hinter die Scheibe fällt, und kleiner aber näher, wenn er vor ihnen liegt. Ist das eine roth, das andere grün, so erblickt man ein weisses Scheibchen. Diess Alles spricht für die Behauptung, dass die in beiden Augen verschiedenen Erregungszustände einzeln dem Gehirn zugeführt, sich in demselben zu einer Resultante verbinden. Betrachtet man nach *Dove* durch ein rothes Glas ein rothes Bild, das auf grünem Grund gemalt ist, so sieht man diesen schwarz. Hält man nun vor das andere Auge ein grünes Glas, so ist für dieses das rothe Bild schwarz. Bald aber erblickt man Bild und Grund in ihrer eigenthümlichen Farbe mit einem lebhaften Metallglanz. Dieser erscheint auch, wenn man eine schwarze und weisse Fläche im Stereoscop betrachtet, und ist eine Folge davon, dass der Glanz oder das Licht, welches nur von der Oberfläche herrührt und nicht wie das farbige von innen kommt, von beiden Flächen zu einem besondern Eindruck combinirt wird. Ein anderes Beispiel des Unterschiedes zwischen Binocular- und Monocular-Sehen ist folgendes: Wenn man beide Augen so auf zwei gleiche Gegenstände richtet, z. B. auf zwei Maschen in einem Rohrstuhl, dass die Augenachsen sich kreuzen, glaubt man nur *ein* Bild zu sehen, welches an dem Durchkreuzungspunkt, also näher erscheint.

Zur Erklärung von *Brewster's* Stereoscop dient noch Folgendes: In der Figur 414 seien p und q die beiden Hälften der Linsen, a und b die beiden Augen. Ein Lichtstrahl mo, der von m auf die Linse p fällt, wird so gebrochen, dass er die Richtung ac erhält. Ebenso wird der von n kommende Lichtstrahl nx nach der Brechung die Richtung bc haben. Die beiden Augen nehmen darum in c nur ein einziges Bild von den entsprechenden Punkten m und n wahr.

Fig. 414.

Das Stereoscop von *Brewster* zeigt auf's schönste die Reliefform von zwei photographischen Bildern, die unter einem Winkel von 12° aufgenommen sind.

Es gibt eine gewisse Neigung zwischen den Achsen der Augen, in welchen wir gleichzeitige Eindrücke auf beide gar nicht mehr in unser Bewusstsein aufnehmen können, wie man findet, wenn man zwei Kartenblätter mit einem kleinen Loche vor die Augen hält und durch jedes auf zwei etwas von einander entfernte Punkte sehen will. Das Doppeltsehen desselben Gegenstandes erfolgt nur, wenn wir durch Druck die Achse des einen Auges sehr stark gegen die des andern neigen; wenn also die Bilder auf solche Stellen der Netzhaut fallen, welche in der Regel nicht gleichzeitig durch die Strahlen desselben Gegenstandes afficirt werden, oder in krankhaften Zuständen. Hält man zwischen die Augen und zwischen zwei stereoscopische Bilder, wie die zwei letzten Zeichnungen in Fig. 413 senkrecht ein Kartenblatt, so erscheint nach einiger Zeit nur *ein* Bild, und zwar in diesem Fall ein vertiefter Kegel.

Bei entfernten Gegenständen zeigt das *Telestereoscop* von *Helmholtz* den Unterschied zwischen dem Binocular- und Monocular-Sehen sehr auffallend. Dieses Instrument beruht darauf, dass an die Stelle der Oeffnungen in Fig. 412 zwei gleiche Fernröhren kommen, und in einer Entfernung von mehreren Fussen rechts und links bei q und r Spiegel unter 45° stehen, die das Bild eines entfernten Gegenstandes auf die Spiegel mn und no reflectiren. Von diesen gelangt es alsdann durch die beiden Fernröhren in die Augen und hat die Wirkung, als ob diese den ver-

grösserten Abstand qr hätten. *Dove* hat gezeigt, dass wenn man eine Druckschrift und eine Copie derselben in das Stereoscop bringt, sich eine, für das blose Auge nicht sichtbare Differenz in dem Abstand der Worte sogleich durch Hervortreten derselben aus der Ebene des Papiers merklich macht, und dass man also die Fälschung von Werthpapieren dadurch erkennen kann.

§. 289.

Das *Augenmaass* ist die Fertigkeit, aus der scheinbaren Grösse eines Gegenstandes oder dem Winkel, welchen die vom Auge nach seinen Gränzen gedachten Linien mit einander bilden, und aus seiner Entfernung die wahre Grösse desselben zu finden, oder umgekehrt, aus der bekannten Grösse und dem Sehwinkel, die Entfernung richtig zu beurtheilen. Bei nahen Gegenständen hat auch der Winkel, welchen die Augenachsen mit einander bilden, Einfluss auf unser Urtheil. Es beruht also auch das Augenmaass auf der mathematischen Anschauung unseres Verstandes, wird aber durch den Unterschied der Helle und durch die ungewöhnliche Grösse der Gegenstände oft irre geführt. So halten wir z. B. die Sonne beim Aufgang für grösser, weil wir sie unter demselben Sehwinkel erblicken, und sie uns doch, wie schon im §. 288 erklärt ist, weiter entfernt zu sein scheint; eine Täuschung, die augenblicklich verschwindet, wenn man sie durch ein geschwärztes Glas betrachtet. Aus demselben Grunde glauben wir auch, die Sternbilder seien am Horizonte grösser als in einer gewissen Höhe über demselben, und im Nebel scheinen uns darum bekannte Gegenstände oft von ungemeiner Grösse. Unser Augenmaass wird sehr unterstützt durch die Menge der zwischen uns und dem Gegenstande liegenden Dinge, und durch seine Lage gegen Dinge von bekannter Entfernung. Haben letztere eine ungewöhnliche Grösse, wie die Hochgebirge für die auf dem flachen Lande Lebenden, so täuschen wir uns ausserordentlich über die Entfernung der Gegenstände. Von wesentlichem Einfluss auf das Augenmaass ist der Dunst, welcher mit der Entfernung die Schärfe der Conturen verschleiert und die Contraste zwischen Licht und Schatten vermindert, oder die *Luftperspective.* Auch die Bewegung der Bilder ist eine Aufgabe für unser Urtheil. Sie ist nach *Schmidt* nur wahrnehmbar, wenn der in einer Sekunde zurückgelegte Bogen in der deutlichen Sehweite nicht unter 2 $^1/_4$ Minute beträgt. Ueber die wahre Gestalt eines Gegenstandes können wir nicht mehr urtheilen, wenn der Sehwinkel kleiner als $^1/_2$ Minute ist. Ein weisses Quadrat von 1 Meter Seite erscheint in ohngefähr 1 Meile Entfernung unter diesem Sehwinkel als ein heller Fleck, der kaum noch von einem gleichgrossen Kreis unterschieden werden kann. Auf dem Mond, der 50000 Meilen entfernt ist, müsste also ein Quadrat ohngefähr 50000 Meter Seite haben, um gerade noch als Quadrat gesehen zu werden. Für ein Fernrohr von 1000facher Vergrösserung müsste es also 50 Meter Seite haben. Nach *Bessel* kann aber durch die besten Fernröhren ein Gegenstand unter den günstigsten Umständen nur dann noch als beträchtlich von der runden Gestalt verschieden erkannt werden, wenn er am Auge wenigstens einen Winkel von 1 Sekunde einschliesst; diess macht beim Mond, dass die Gegenstände $^1/_4$ Meile Durchmesser haben müssen, wenn man erkennen soll, ob sie rund oder eckig sind. Doch sieht man hellleuchtende Punkte noch, wenn sie unter einem Sehwinkel von weniger als einer Sekunde erscheinen, und dunkle

Linien wie Telegraphendrähte auf hellem Grund unter Winkeln von wenigen Sekunden. Alle optischen Täuschungen beruhen auf einem Irrthume unseres Verstandes, nicht auf einem Betruge der Sinne. Sie lassen sich in der Regel leicht erklären. Als Beispiele dienen: das Zusammenlaufen langer Alleen, das Steigen der Meeresfläche, die Neigung hoher Säulen, welche man von unten betrachtet; die optischen Zerrbilder, die in einer gewissen Stellung regelmässig erscheinen; die zum Theil mit Wasser gefüllte Flasche vor dem Hohlspiegel, in der man das Wasser unten zu sehen glaubt; das Steigen gerader Landstrassen, die man von einer Anhöhe in der Ebene erblickt; das Vor- und Rückwärtsgehen des Mars zwischen den Fixsternen u. s. w.

Nennt man den Sehwinkel x, die senkrechte Höhe eines Gegenstandes a und seine Entfernung b, so ist $\frac{a}{b} = \operatorname{tang} x$ oder $a = b \operatorname{tang} x$ und $b = a \operatorname{cotg} x$ der mathematische Ausdruck für das Augenmaass.

§. 290.

Aus den Beobachtungen verschiedener Astronomen über den Vorübergang der Sterne vor den Fäden eines feststehenden Fernrohrs, und die gleichzeitigen Schläge einer Pendeluhr geht hervor, dass der eine Beobachter den Eindruck des Gesichtes oder Gehöres früher oder später in seinem Bewusstsein aufnimmt, als der andere, oder umgekehrt. So nahm z. B. bei einer Pendeluhr, welche ganze Sekunden schlägt, *Gerling* den Antritt des Sterns an den Faden des Fernrohrs um 0,74 Sekunden später, und *Bessel* um 0,4 Sekunden früher wahr als *Nicolai*. *Struve* beobachtete dagegen bei den Schlägen eines Sekundenpendels um 0,46 Sekunden später als *Nicolai*, und bei einer Uhr, die halbe Sekunden schlug, nur um 0,21 Sekunden später. Daraus geht hervor, dass jene Differenzen um so mehr abnehmen, je geringer die Zwischenräume der Eindrücke auf das Gehör sind; oder dass sie vorzüglich daher rühren, dass die Lichteindrücke bei den obigen Beobachtungen stetig und die Gehörerschütterungen unterbrochen waren.

Von wichtigem Erfolge ist auch die Fortdauer des Lichteindrucks. Nach *Plateau's* Versuchen hinterlässt Weiss den dauerndsten und stärksten Eindruck; dann folgt Gelb, Roth, Blau. Die mittlere Dauer vom Momente der grössten Stärke bis zum völligen Verschwinden beträgt 0,34 Sekunden. Entsteht daher auf der Netzhaut ein neuer Lichteindruck, ehe der erste aufgehört hat, so hält man beide für gleichzeitig, und ist die Dauer von keinem lange genug, so nimmt man Nichts davon wahr. Aus der letzten Ursache verschwinden die Umrisse eines 28 ½ Zoll vom Auge entfernten Körpers, wenn der Bogen, welchen er in einer Sekunde durchläuft, 199^0 beträgt, und der Gegenstand selbst wird unsichtbar, wenn er mehr als 365^0 zurücklegt. Auf der Dauer des Lichteindrucks beruht das *Thaumatrop*, eine Scheibe, welche auf beiden Seiten bemalt ist, und deren Bilder ein einziges im Auge hervorbringen, wenn sie schnell genug umgedreht wird; eben so der feurige Kreis, welchen eine Kohle beschreibt, wenn sie wenigstens 7 ½ mal in der Sekunde herumgeschwungen wird; ferner die krummen Linien der Radspeichen, wenn ein Wagen schnell hinter einem Gitter von vielen Stäben vorbeifährt. Wenn zwei Räder sich in entgegengesetzter Richtung um

dieselbe Achse drehen, und beide gleiche Geschwindigkeiten und gleichviele Speichen haben, so erblickt man ein festes Rad, welches so viele Speichen hat, als beide Räder zusammengenommen. Für andere Geschwindigkeitsverhältnisse kann sich das Bild in der Richtung der grössern Geschwindigkeit drehen oder fest bleiben, wobei es aber eine grössere Anzahl Speichen zeigt. Diess ist ein Mittel, die Continuität oder Discontinuität eines Flüssigkeitsstrahles u. dgl. zu erkennen. Die interessanteste Anwendung davon sind aber die *stroboscopischen Scheiben* von *Stampfer*, indem sie eine auf den Irrthum berechnete Erscheinung der unterhaltendsten Art hervorbringen. Eine Scheibe von etwa 10 Zoll im Durchmesser habe am Rande 10 Oeffnungen, und werde vor einem Spiegel, z. B. rechts, gedreht, während das Auge durch eine dieser Oeffnungen sieht. Da nun jede Oeffnung ihrem Bilde im Spiegel gerade gegenüber steht, so scheinen alle Oeffnungen stille zu stehen. Sind aber unter diese Oeffnungen, in gleichen Abständen, z. B. 11 Räder gemalt, so erscheint nach einer Umdrehung das erste Rad wieder gerade unter einer Oeffnung. Da man aber der Dauer des Lichteindruckes wegen das jedesmal gerade gegenüberstehende Rad für das vorige gehalten hat, und dieses um $^1/_{11}$ des Zwischenraumes der Oeffnungen weiter rechts von einer Oeffnung steht als das vorhergehende, so muss das zweite um $^2/_{11}$, das eilfte um $^{11}/_{11}$ oder um den ganzen Zwischenraum zwischen zwei Oeffnungen rechts gerückt erscheinen. Nach 10 Umdrehungen scheint daher das erste Rad den ganzen Umfang der Scheibe durchlaufen zu haben. Sind die Speichen der Räder selbst so gemalt, dass die eines jeden folgenden um einen Theil seines Umfanges zurückstehen, so scheint sich auch das Rad um seine Achse zu drehen, und also fortzurollen. Auf diese Art lässt sich jede doppelte Bewegung darstellen. Sind es 9 Räder und 10 Oeffnungen, so ist die Bewegung rückgängig. Bei 5 Rädern und 10 Oeffnungen stehen die erstern still, erscheinen aber blasser, weil unter 2 Oeffnungen nur 1 Rad steht, und darum der Lichteindruck schwächer ist. Doch muss die Drehung so schnell sein, dass der Lichteindruck von dem Vorübergange der ersten bis zu dem in der dritten Oeffnung anhält. Auf diese Erfindung wurde *Stampfer* und zugleich mit ihm *Plateau* durch Versuche von *Faraday* geleitet. *Horner's Daedaleum* ist nur eine andere Anwendung davon; es besteht aus zwei rotirenden Cylindern, welche den Vortheil gewähren, dass mehrere zugleich hineinsehen können, und kein Spiegel nöthig ist. Das *Anorthoscop* von *Plateau* besteht aus zwei parallelen Scheiben, die sich mit verschiedener Geschwindigkeit umdrehen lassen. Die eine ist mit Einschnitten versehen, und auf der andern, welche transparent ist und durch ein dahinter gestelltes Licht erhellt wird, befindet sich eine verzerrte Zeichnung, welche regelmässig erscheint, wenn das Auge durch die Einschnitte der ersten Scheibe sieht, während beide nach entgegengesetzter Richtung gedreht werden.

Schwingt man an einem Faden einen Körper im Kreis, und sieht man durch eine gleich schnell gedrehte Scheibe mit Einschnitten nach ihm hin, so nimmt man seine Gestalt im ruhenden Zustande wahr. So kann man selbst den Lauf von Kanonenkugeln verfolgen.

Auf der Fortdauer des Lichteindrucks und einer Art Reaction des Sinnes beruht auch die Täuschung, dass, wenn wir lange Zeit bewegte

Gegenstände betrachtet haben, und nun auf ruhende hinsehen, sich diese nach entgegengesetzter Richtung zu bewegen scheinen. Es scheint dabei das Auge ein Bestreben zu haben, solche Eindrücke in die entgegengesetzten zu verwandeln. Zeichnet man z. B. auf eine schwarze Scheibe eine weisse Spirale, und dreht man sie so, dass die entstehenden weissen Kreise von innen nach aussen fortzuwandern scheinen, so wird, wenn man schnell von dieser Scheibe auf eine andere ruhende Scheibe hinsieht, diese gleichsam verkleinert.

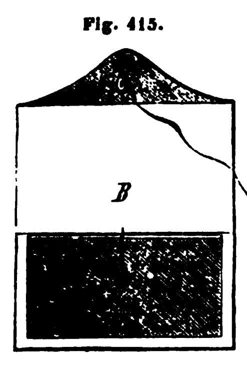
§. 291.

Die Vorstellung der Farbe hängt nicht allein von dem leuchtenden Gegenstande, sondern auch von dem sehenden Subjecte ab, wie man auch schon daran erkennt, dass manche Personen (Daltonisten) einzelne Farben, z. B. Roth und Grün, nicht von einander zu unterscheiden vermögen. Wird das Auge durch einen vorhergehenden Eindruck für den nachfolgenden unempfindlich, oder bringt es von zwei gleichzeitigen Eindrücken nur den stärkern zu unserm Bewusstsein, so entstehen solche *subjective* Farben, die man auch *zufällige* oder *physiologische* Farben nennt.

Betrachtet man z. B. ein rothes Kreuz auf weissem Grunde, der stark vom Sonnenlichte erhellt ist, und nimmt man es nach einiger Zeit weg, so erscheint an dieser Stelle ein grünes Kreuz. Hier ist die Stelle der Netzhaut, auf welche das rothe Bildchen fiel, für Roth unempfindlicher geworden. Da nun Weiss aus Roth und seiner complementären Farbe besteht, so ist es vorzugsweise an jener Stelle nur für letztere empfindlich. Sieht man an die weisse Decke des Zimmers, so erscheint das Kreuz auf dunklerem Grunde, weil auch die Stellen der Netzhaut, wohin das weisse Licht fiel, für dieses unempfindlicher geworden sind. Entzieht man das Auge vollkommen jedem weiteren Lichteindrucke dadurch, dass man es mit einem Taschentuche bedeckt, so nimmt man dieselbe Erscheinung wahr. Ebenso ruft auch jede der übrigen Farben ihre complementäre Farbe hervor.

Um die subjectiven Farbenerscheinungen bei mehreren zugleich hervorzubringen, kann man einen weissen Papierschirm im dunkeln Zimmer durch den Heliostat beleuchten, nachdem man in die Röhre desselben ein convexes Glas gebracht hat, um den Lichtbüschel auf eine grössere Fläche zu zerstreuen. Hält man nun zwischen den Heliostat und den Schirm z. B. ein grünes Glas, so erscheint sein Schatten grün auf weissem Grund. Hat man diesen eine Zeitlang betrachtet, und nimmt man das gefärbte Glas weg, so erscheint derselbe Fleck mit der complementären Farbe. Sehr passend zu solchen Versuchen ist auch *Nörrenberg's* Fallapparat, Fig. 415. Ueber ein Holzrähmchen ist vorne ein Brettchen *B* befestigt, welches nur den obern Theil der Vorderseite bedeckt. In die Hinterwand können kleine Brettchen wie *A*, die mit gefärbtem Papier überzogen sind, eingeschoben werden. An *B* hängt eine kleine Bleikugel, um beide Augen auf einen

Fig. 415.



Punkt zu fixiren. Zwischen der Vorderwand und der Hinterwand hängt ein weisses Brettchen an einer Schnur, die über eine Rolle c läuft. Hat man nun das gefärbte Brettchen A eine Zeitlang betrachtet, so lässt man die Schnur los, und das weisse Brettchen tritt dann durch den Fall so plötzlich an seine Stelle, dass die complementäre Farbe darauf sehr lebhaft zum Vorschein kommt.

Eine ähnliche Farbenerscheinung findet statt, wenn man in einem dunkeln Zimmer zwei helle Kerzen vor einer weissen Tafel aufstellt und den Schatten eines undurchsichtigen Körpers so darauf fallen lässt, dass das eine Licht den Schatten, welchen das andere veranlasst, erleuchtet. Wenn beide farbiges Licht verbreiten, indem sie entweder mit farbigen Cylindern umgeben sind, oder ihr Licht durch gefärbte Plangläser auf die weisse Tafel fällt, so sind ihre Schatten *objectiv gefärbt;* d. h. der Schatten des Lichtes a hat die Farbe des Lichtes b und umgekehrt. Wenn aber die eine Lichtgattung weiss ist, so ist nur der, vom farbigen z. B. rothen Lichte erhellte Raum von der Farbe dieses Lichtes, der Schatten aber, welchen das farbige Licht veranlasst und der vom weissen Lichte erhellt ist, hat die complementäre, hier grüne Farbe, statt weiss zu sein. Diese und ähnliche Erscheinungen nennt man auch *Contrastfarben.* Betrachtet man den grünen Schatten durch ein Rohr, welches innen geschwärzt ist, so dauert selbst dann die Vorstellung vom grünen Lichte noch fort, wenn man ein anderes gefärbtes Glas an die Stelle des rothen setzt, hört aber sogleich auf, wenn man das Rohr entfernt. Es dauert also die Empfindung der subjectiven Farben noch fort, wenn auch die Ursache entfernt ist. Ebenso bemerkte *Fechner,* dass die subjective Farbe des Schattens gar nicht eintritt, wenn man das Rohr früher auf jene Stelle richtet, welche grün erschien, und nachher erst das rothe Glas einsetzt. Um sich diese Erscheinungen von subjectiven complementären Farben zu erklären, nimmt man an, dass da, wo z. B. weisses Licht den von Roth umgebenen Raum oder Schatten erhellt, und also weisses Licht aus diesem zurückgeworfen wird, das Auge für die Farbe Roth unempfindlich geworden sei, und nur noch die complementäre Farbe, Grün, empfinde; indem wir gleichsam Roth für Tageslicht halten, und dieses aus dem Farbengemisch, welches wir weiss nennen, streichen. Dieser Erklärung widerspricht aber die Bemerkung *J. Müller's,* dass man auch auf Schwarz und ganz im Dunkeln die complementären Farben sieht. So wie die Erscheinungen der Irradiation und der Fortdauer des Lichteindrucks im Auge für eine eigenthümliche Erregbarkeit der Netzhaut sprechen, so zeigen auch mehrere Versuche von *Plateau,* dass dieser Zustand der Netzhaut wechselnde Erscheinungen hervorbringen kann. Sieht man z. B. mit *einem* Auge durch eine schwarze, $\frac{1}{2}$ Meter lange und 3 Centimeter weite Röhre auf ein im vollen Tageslichte liegendes rothes Papier, etwa eine Minute lang, während das andere Auge durch ein Taschentuch geschlossen ist, und betrachtet man nachher ohne Rohr die weisse Decke des Zimmers, so erscheint erst ein grünes, dann ein schwächeres rothes, sodann wieder ein noch schwächeres grünes Bild, und so wechseln sie noch einigemal ab, bis jeder Eindruck im Auge verschwindet. Fällt eine Lichtgattung von allen Seiten ein, und kann also nur *ein* Schatten entstehen, wie z. B. wenn der blaue Himmel einen Raum erhellt, in welchen der Schatten eines von der Sonne beschienenen Körpers fällt, so erscheint dieser Schatten objectiv von der Farbe des gefärbten Lichtes; ist aber das von allen Seiten einfallende Licht weiss, und dasjenige, welches den Schatten veranlasst, gefärbt, so hat der Schatten die complementäre Farbe des gefärbten Lichtes. Zur Erklärung der objectiv gefärbten Schatten bedarf es keiner künstlichen Mittel; denn, wenn z. B. die aufgehende Sonne den Schatten eines Körpers auf eine weisse Wand wirft, so wird dieser Schatten durch den blauen Himmel zugleich erleuchtet und wirft daher blaues Licht zurück. Ist der Schatten schmal und bildet er nur einen horizontalen Streifen, so kann er auch unten geröthet erscheinen, wenn die Farbe des Morgenroths an dieser Stelle zurückgeworfen wird und die Sonne schon höher als die Röthe des Himmels steht. Dass aber hinter einem grössern Gegenstande unter denselben Bedingungen der Schatten nicht gefärbt zu sein scheint, hat einen andern Grund. Wir nennen nämlich das Sonnenlicht weiss, und wissen, dass, wenn eine der Hauptfarben, aus denen es besteht, fehlt, die complementäre Farbe jener fehlenden zum Vorschein kommen muss, im Falle zugleich weisses Licht zur Vergleichung da ist. In einem Theater nehmen wir das gelbe Licht der Lampen für weiss, im Freien

das Sonnenlicht, und wenn dieses fehlt, das blaue Licht des Himmels oder das Tageslicht. Ist daher der Schatten so gross, dass aus dem Raume, welchen das Auge vollkommen übersieht, kein weisses Licht zur Vergleichung in dasselbe fallen kann, so erscheint uns auch das reflectirte Licht des Himmels nicht blau. Aus diesem Grunde ist auch der Schatten des Körpers auf dem Schnee bei heiterem Himmel blau, so lange die Sonne nicht so hoch steht, dass durch das grelle Licht derselben der Eindruck des blauen Himmelslichtes verschwindet. Daraus sieht man, dass auch Vieles auf die Intensität der einzelnen Lichtgattungen ankömmt. Durch Mischung des reflectirten Lichtes entstehen gemischte Farben. So erscheint nach dem Untergange der Sonne der Schnee der Alpengebirge zuweilen violett, wenn sich nämlich das rothe Licht des Horizontes mit dem blauen darauf vermischt.

Eine sehr auffallende Bestätigung von der obigen Erklärung der subjectiven Farben gibt das *Diploscop* von *Schaffgotsch*. Es besteht aus einer drehbaren Scheibe, die zur Hälfte roth, zur Hälfte grün bemalt ist, und durch zwei Röhren, die man vor die Augen hält, betrachtet wird. Hat das eine Auge bis zur Ermüdung nur Roth, das andere nur Grün gesehen, und dreht man nachher die Scheibe, so dass vor beiden Augen eine Mischung dieser Farben erscheinen müsste, so sieht das erste Auge nur Grün, das andere nur Roth.

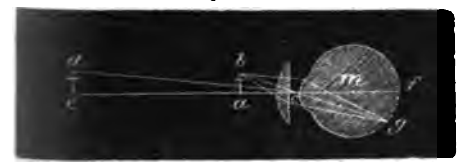
Neben einander sind für den Gesichtssinn hauptsächlich die complementären Farben angenehm, wesshalb sie auch *harmonisch* heissen. Z. B. ein rothes Tuch auf grünem Kleid, oder goldorangene Franzen an blauer Draperie. Der Grund dieser Annehmlichkeit ist offenbar der, dass, wenn ein Theil der Netzhaut durch eine Farbe getroffen wird, sie selbst in Folge dieser Wirkung in den benachbarten Stellen die complementäre Farbe durch den Contrast hervorruft.

Von der Dauer des Lichteindrucks rührt auch die von *Wheatstone* gemachte Beobachtung her, dass, wenn man helles Licht auf blaue Papierscheiben fallen lässt, die mit rothen Figuren bemalt sind oder umgekehrt, diese zu tanzen scheinen (flatternde Herzen), besonders wenn man schief darauf sieht und die Scheibe bewegt.

§. 292.

Wenn Lichtstrahlen von sehr nahe liegenden Gegenständen in's Auge kommen, so können sie nicht mehr auf der Netzhaut vereinigt werden, und darum kein deutliches Bild erzeugen, wie schon oben bemerkt wurde. Bringt man aber ein stark convexes Glas zwischen das Auge und einen solchen Gegenstand, so werden die Lichtstrahlen früher vereinigt, und können daher, bei gehöriger Stellung des Objects und des Glases gegen das Auge, in diesem ein deutliches Bild hervorbringen. Hierauf beruht die Wirkung der *Loupe* und des *einfachen Mikroscopes*, oder jedes convexen Glases von einer Brennweite, die kleiner ist, als die Weite des deutlichen Sehens. Ist z. B. ec, Fig. 416, die kleinste Weite, in welcher ein Object de ohne Glas noch deutlich gesehen werden kann, und ac die Brennweite der Linse c, welche man dicht vor das Auge m hält, und bringt man das Object de nach ab, so gehen die von b auf das Glas fallenden Lichtstrahlen, nach der Brechung, parallel mit ihrem Hauptstrahl bg fort, bis sie auf die convexe Hornhaut treffen. Dort werden sie so gebrochen, als kämen sie von einem entfernten Gegenstande, und daher in einem Punkte g der Netzhaut vereinigt. Ebenso werden die von a kommenden Lichtstrahlen in dem Punkte f des Hauptstrahls wieder vereinigt. Dadurch entsteht in fg ein deutliches Bild von ab, welches unter dem Sehwinkel fcg oder bca erscheint. Da nun in der Entfernung ce dasselbe Object unter

Fig. 416.



dem Sehwinkel dce erschienen wäre, so ist die Vergrösserung der Zahl gleich, welche ausdrückt, wie oft der Winkel dce in dem Winkel bca enthalten ist. Da aber bei so kleinen Winkeln die Linien ac und ec im umgekehrten Verhältnisse mit diesen Winkeln stehen, so ist die Vergrösserung der Zahl gleich, welche angibt, wie vielmal ac in ec, oder die Brennweite der Linse in der kleinsten Weite des deutlichen Sehens enthalten ist. Manche verstehen auch unter der Vergrösserung das Quadrat dieser Zahl, weil der Fläche nach eine Figur 4, 9, 16 ... mal grösser wird, wenn die Seiten 2, 3, 4 ... mal grösser werden. Für Kurzsichtige ist die Vergrösserung geringer, für Fernsichtige stärker, weil die Weite des deutlichen Sehens bei ersteren kleiner ist.

Wenn die Brennweite einer Linse $1/2$ Linie und die Sehweite 10 Zolle beträgt, so ist daher die Linearvergrösserung = 100 : $1/2$ oder 200. Die Vergrösserung der Fläche aber = 40000. Streng genommen, richtet sich die Vergrösserung nach dem Verhältniss der Sehwinkel bca und dce, wenn ac diejenige Weite der Linse ist, bei welcher die von a kommenden Lichtstrahlen nach der Brechung eben so divergirend auf das Auge fallen, als kämen sie von e. Diese Entfernung findet man nach §. 239, Anm.: wenn man in der Formel $\frac{1}{x} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a}$ für f die Brennweite der Linse, für x die Vereinigungsweite ac und für a die Linie — ce setzt, weil hier die beiden Punkte e und a auf *einer* Seite der Linse liegen. Man hat alsdann $\frac{1}{ac} = \frac{1}{f} + \frac{1}{ce}$, folglich $\frac{ec}{ac} = \frac{ec}{f} + 1$. Demnach *ist die Vergrösserung um Eins grösser,* als der Quotient aus der Weite des deutlichen Sehens und der Brennweite der Linse. Loupe nennt man eine grössere einfache Linse von 1 bis 2 Zoll Durchmesser und höchstens 6 bis 8maliger Vergrösserung. Kleinere Linsen mit stärkerer Vergrösserung heissen einfache Mikroscope. Wenn sie planconvex sind, so muss stets die convexe Seite dem Gegenstande zugekehrt werden. Ein an beiden Enden sphärisch geschliffener Glascylinder leistet die Dienste einer zusammengesetzten Loupe und hat mehr Lichtstärke. Bei *Wilson's* Loupen ist das Sammelglas in ein Röhrchen mit enger Oeffnung gefasst. Letztere befindet sich in der Brennweite der Linse und das Auge befindet sich dicht an derselben. Hinsichtlich der Deutlichkeit der Bilder gelten hier die allgemeinen Regeln über die convexen Gläser überhaupt. Um die Farbenzerstreuung zu vermindern, verfertigt man Linsen aus Diamant, Saphir, Rubin und andern Edelsteinen, die bei einem starken Brechungsvermögen nur wenig Farbenzerstreuung hervorbringen. *Brewster* hat die Krystalllinse der Fischaugen mit Erfolg angewendet. Schon ein Wassertropfen, der in der kreisförmigen Oeffnung eines Metallplättchens hängen bleibt, kann als Mikroscop dienen; ebenso kleine Kugeln von Glas, die mit Weingeist oder Wasser gefüllt sind. Mit Hilfe kleiner Hohlspiegel gibt man dem zu betrachtenden Objecte eine stärkere Erleuchtung, weil diese mit der zunehmenden Vergrösserung abnimmt. Nach *Brewster* ist die Anwendung homogenen Lichtes zur Beleuchtung der Objecte von nützlichem Erfolge.

§. 293.

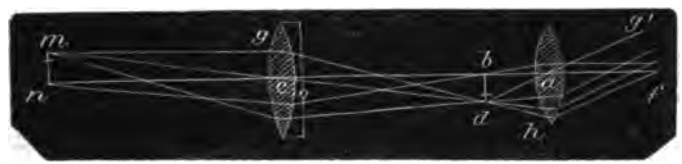
Die Gesetze, nach welchen die concaven Spiegel und die convexen Gläser in einer bestimmten Entfernung ein Bild von einem nahe an ihrer Achse liegenden Objecte hervorbringen, sind in den §§. 222 und 240 entwickelt worden. Dieses Bild kann man nun, statt mit blossem Auge, vermittelst eines andern Glases oder Spiegels in der Richtung der Hauptachsen betrachten. Da die meisten Augen parallele Strahlen in einem Punkte der Netzhaut vereinigen, so gibt man dem zweiten Glase eine solche Lage gegen jenes Bild, dass die Lichtstrahlen von ihm parallel in's Auge gelangen können. Hierauf beruhen alle *Fernröhren* und *zusammengesetzten Mikroscope.* Für Kurzsichtige oder Fernsichtige muss

an dem Instrumente eine Vorrichtung angebracht sein, durch welche die Verschiebung des zweiten Glases möglich ist, um eine kleine Divergenz oder Convergenz der Lichtstrahlen hervorzubringen. Das Glas, welches dem Objecte zugewendet ist, heisst das *Objectivglas*, und dasjenige, welches dem Auge am nächsten ist, das *Ocularglas*. Die Linie, welche durch die Mitte von beiden geht, und zu ihnen senkrecht ist, heisst die Achse des Fernrohres. Diejenigen Fernröhren, bei welchen das Objectivglas aus einer Glaslinse besteht, heissen *dioptrische* oder auch *Refractoren*, und diejenigen, bei welchen ein Hohlspiegel seine Stelle vertritt, *catoptrische* Fernröhren oder *Reflectoren*. Die dioptrischen Fernröhren sind bequemer und dauerhafter, als die catoptrischen, aber schwerer in grossem Maassstabe zu verfertigen. Die letzteren sind darum hinsichtlich ihrer grösseren Wirkung immer noch weit vorzüglicher. Doch haben die Refractoren den Vortheil, dass die Abweichung wegen der sphärischen Form der Flächen bei ihnen fast ganz gehoben werden kann, und verdienen wegen schärferer Begränzung der Bilder den Vorzug.

§. 294.

Das *astronomische* oder *Kepler*'sche *Fernrohr* besteht aus einem convexen achromatischen Objectivglase *c*, Fig. 417, und einem convexen Ocularglase *a*, welche um die Summe ihrer Brennweiten von einander entfernt sind. Das erste macht von einem entfernten Gegenstande *mn*

Fig. 417.



in der Brennweite *bc* ein verkehrtes Bild *bd*, und dieses wird in dem Abstande *ab*, welcher der Brennweite des Ocularglases gleich ist, wie durch ein einfaches Mikroscop betrachtet. Die von *d* ausgehenden Lichtstrahlen sind nach der Brechung durch das Ocularglas *a* parallel mit dem Hauptstrahle *da*, und die von *b* ausfahrenden parallel mit *ba*. Das Bild erscheint also unter dem Sehwinkel *bad* oder *gaf*, und der Gegenstand selbst nur unter dem Sehwinkel *mcn* oder *bcd*. Die Vergrösserung ist daher dem Verhältnisse der Winkel *bad* und *bcd* oder der Linien *bc* und *ba* gleich. Man findet sie also, wenn man die Brennweite des Objectivglases durch die des Ocularglases dividirt. Der Winkel *bcd* heisst das halbe *Gesichtsfeld*, wenn der äusserste Strahl *gdh* nach der Brechung noch in das bei *f* befindliche Auge gelangen kann, und desshalb *d* so hell erscheint als *b*. Ist daher das Ocularglas sehr klein, oder von geringer Brennweite, so ist es auch das Gesichtsfeld. Je näher das Auge dem Ocularglase ist, desto weniger Lichtstrahlen gelangen von *d* in dasselbe; daher wird das Bild von *d* schwächer oder das Gesichtsfeld kleiner. Aus diesem Grunde gibt es eine gewisse Entfernung *af*, in welcher sich das Auge vom Ocularglase befinden muss, wenn man das ganze Gesichtsfeld des Fernrohres benutzen will. Da

der Lichtstrahl fh von einem Punkte unterhalb der Achse kommt, so sieht man durch ein solches Fernrohr die Gegenstände verkehrt. Bei bd wird häufig ein kreisförmiger Ring, das *Diaphragma*, angebracht, um alles unordentlich zerstreute Licht abzuhalten. Die Lichtstärke des Fernrohrs richtet sich nach der Grösse des Objectivglases und würde so vielmal grösser sein, als beim Sehen mit freiem Auge, als die Fläche der Pupille in der des Objectivglases enthalten ist, wenn nicht einiges Licht beim Durchgang durch die Gläser verloren ginge.

Ueber das Diaphragma werden zu Messungen oft feine Fadenkreuze oder Mikrometer gespannt. Diesen für die Messung so wichtigen Gedanken hatte zuerst *Gascoigne* im Jahr 1640. Er beleuchtete die Fäden durch Licht, welches zur Seite des Fernrohrs einfiel. *Troughton* führte Spinnfäden ein, deren Dicke $\frac{1}{8000}$ Linie beträgt. Dazu kann man nur die langen Fäden, an denen das Spinngewebe hängt, brauchen, weil sie allein undurchsichtig sind. *Wollaston* nahm Platinfädchen von $\frac{1}{80000}$ Zoll Dicke. Da bei astronomischen Fernröhren mehrere parallele Fäden nothwendig sind, und die Aufspannung derselben schwierig ist, so hat man Glasgitter aus quadratischen und rautenförmig gezogenen Linien, auch aus concentrischen Ringen verfertigt. Beim Mikroscop wendet man vorzüglich erstere an. Die durch flussspathsaure Dämpfe geätzten Kreise sind besser, weil bei Nacht durch das angebrachte Licht von den andern nur ein Theil erleuchtet wird. Um die scheinbare Grösse eines kreisrunden Körpers zu bestimmen, wendet man Mikrometer mit zwei beweglichen Fäden an. Den Abstand der Fäden im Fernrohr misst man nach *Gauss* auf folgende Art: Man stellt, nachdem man das Ocular des Fernrohrs herausgenommen hat, ein anderes Fernrohr mit einer Vorrichtung zum Winkelmessen so auf, dass beide ihre Objective einander zuwenden, und dass ihre Achsen eine gerade Linie bilden. Man sieht sodann die Fäden des ersten Fernrohrs deutlich im zweiten und misst mittelst des letztern die Winkelabstände der Fäden. Ihre wahre Entfernung wird alsdann leicht durch Rechnung gefunden.

Das Objectivglas ist bei guten Fernröhren achromatisch nach §. 245, und das Ocularglas ist in der Regel aus zwei convexen Linsen zusammengesetzt, deren eine die Farbenzerstreuung der andern auf die im §. 245, Anm., angegebene Art corrigirt. Das Bild der Objectivlinse ist ohngefähr in gleichem Abstand mit dem Brennpunkt des Doppeloculars. Dem Doppelocular ziehen Manche eine gewöhnliche achromatische Linse vor, dadurch wird aber bei gleicher Vergrösserung das Gesichtsfeld kleiner. Die Güte eines solchen Fernrohrs erkennt man hauptsächlich dadurch, dass Doppelsterne vollkommen deutlich getrennt und scharf begränzt darin erscheinen. Man muss durch jeden Punkt des Objectivglases die Ocularlinse sehen, und das erstere muss so viel als möglich von Bläschen frei sein, darf keine Wellen und keine Farbenringe zeigen. Auf *Littrow's* Vorschlag, das eigentliche Objec[illegible] an den Fernröhren bloss aus Crownglas zu verfertigen, und zur Aufhebun[illegible] Farbenzerstreuung eine Flintglaslinse von viel kleinerem Durchmesser in [illegible] Entfernung davon anzubringen, hat *Plössl* die sogenannten *dialytischen* Fern[illegible] verfertigt, welche an Achromatismus der *Dollond*'schen Einrichtung gleich [illegible] Da das Flintglas in grösseren Stücken selten rein und sehr kostbar ist, [illegible] Fernröhren bei dieser Einrichtung bedeutend kürzer werden, so ist dadur[illegible] gewonnen. Die Aufstellungsart eines Fernrohrs scheint zwar an sich von [illegible] Wichtigkeit, doch ist auch für den gewöhnlichen Gebrauch die parallactische Aufstellung die bequemste. Diese besteht darin, dass das Fernrohr senkrecht zu einer Drehungsachse befestigt wird, welche selbst zu einer andern Achse senkrecht ist. Letztere ist der Erdachse parallel gestellt und kann in dieser Lage ebenfalls umgedreht werden.

Die Vergrösserung eines Fernrohrs kann man auch durch den Versuch bestimmen, indem man es auf einen in gleiche Theile getheilten Stab richtet, und schätzt, wie viele der mit freiem Auge gesehenen Theile auf einen im Fernrohr gesehenen Theil gehen. *Jacquin* hat hiezu folgende Methode angegeben: Man richtet das Fernrohr auf eine entfernte Scala und betrachtet das Bild derselben durch einen unter 45° gegen die Achse des Fernrohrs geneigten Spiegel, der hinter dem

Ocular befestigt ist und zugleich eine in 8 Zoll Weite entfernte zweite Scala hinter dem Spiegel. Eine weisse Scala auf schwarzem Grunde ist hier vorzüglich gut. Die Grösse des Gesichtsfeldes bestimmt man, indem man den Winkel misst, welchen die Richtungslinien nach den im Gesichtsfelde sichtbaren Gränzen eines Gegenstandes bilden, der dasselbe seiner Längenausdehnung nach ganz erfüllt. Man kann die Vergrösserung auch dadurch finden, dass man untersucht, wie oft bei voller Beleuchtung des Objectivs der Durchmesser der kleinen Lichtscheibe auf dem Ocular in dem Durchmesser des Objectivs enthalten ist. Hierauf beruht *Ramsden's* Dynamometer oder Auzometer.

Eines der vollendetsten Fernröhre ist der Refractor in Pulkowa von *Merz*. Er hat mit einer 2000maligen Vergrösserung 14 Zoll Oeffnung und 21 Fuss Brennweite. Eine Uhr regulirt die Bewegung um die Achse der Erde so vollkommen, dass ein Stern in der Mitte des Fernrohrs vollkommen unbewegt erscheint. Ebenso kann er auch für den Gang der Sonne und des Mondes regulirt werden.

Barlow brauchte zur Aufhebung der Farbenzerstreuung eine mit Schwefelkohlenstoff gefüllte, hohle Linse in der halben Brennweite des Objectivs, welches von Tafelglas ist. Es vergrössert 700mal.

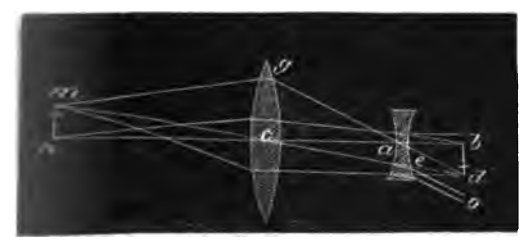
Hieher gehört auch das von *Bouguer* erfundene und von *Fraunhofer* verbesserte *Heliometer*, ein Fernrohr, dessen Objectiv in zwei Theile geschnitten ist. Die Achsen beider Hälften schneiden sich im Ocular. Ihre Neigung ist, wenn die Bilder der Sonne oder der Planeten sich im Fernrohr berühren, der scheinbare Durchmesser derselben. Hier verschwindet der durch die Irradiation mögliche Fehler in der Beobachtung.

Aus der bekannten Grösse eines Gegenstandes kann man auf seine Entfernung schliessen, wenn der Winkel bekannt ist, unter welchem er uns erscheint. Hierauf beruht der *Distanzmesser*. — Das erste Fernrohr hat *Hans Lippershey* in Middelburg um's Jahr 1608 erfunden. Es hatte die im nachfolgenden §. 295 angegebene Einrichtung, und wurde, weil *Galilëi* seine Construction schnell errieth, auch nach diesem benannt. Das astronomische Fernrohr wurde erst später von *Kepler* angegeben.

§. 295.

Das *galilëische* oder *holländische Fernrohr*, Fig. 418, besteht aus einem convexen achromatischen Objectivglase c und einem concaven Ocularglase a, welche um den Unterschied ihrer Brennweiten cb und ab von einander entfernt sind. Von dem Objecte mn würde ohne das Ocularglas in bd ein verkehrtes Bild entstehen. Wenn aber Lichtstrahlen so auf ein concaves Glas fallen, dass sie ohne dasselbe in seiner Brennweite ab vereinigt würden, so gehen sie, vermöge des §. 239, nach der Brechung parallel mit ihren Hauptstrahlen fort. Die von n kommenden sind daher nachher parallel mit ab, und die von m kommenden parallel mit gd, und werden desshalb auf der Netzhaut zu einem deutlichen und aufrechten Bilde unter dem Sehwinkel bad vereinigt. Die Vergrösserung ist dem Verhältniss von bad zu bcd, oder von bc zu ba gleich. Sie wird also gefunden, wenn man die Brennweite des Objectivglases durch die des Ocularglases dividirt. Da die Lichtstrahlen vor ihrer Vereinigung durch das Ocularglas gehen müssen, so muss dieses auch eine angemessene Grösse haben, und seine Brennweite kann daher nicht sehr klein, folglich die Vergrösserung nicht sehr stark sein. Bei *Plössl's* Feldstechern, an welchen alle Theile sehr

Fig. 418.

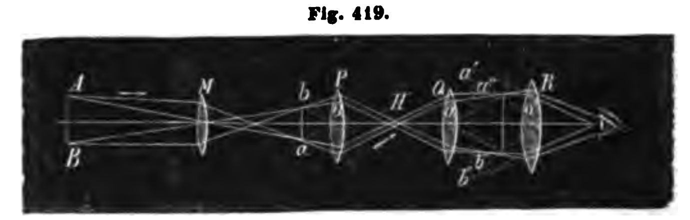


vollkommen gearbeitet sind, ist eine 10 — 30malige Vergrösserung die höchste. An diesen sind auch gewöhnlich mehrere Oculare auf einer Drehscheibe befestigt, um verschiedene Vergrösserungen hervorbringen zu können. Sie sind unbequem, wegen der Kleinheit des Gesichtsfelds.

§. 296.

Die Unbequemlichkeit der astronomischen Fernröhren, dass die dadurch gesehenen Gegenstände verkehrt erscheinen, hat die *Rheita*'schen oder Erd-Fernröhren veranlasst. In ihnen wird das verkehrte Bild durch ein dreifaches Ocular wieder aufrecht, wie Fig. 419 zeigt. Zwischen dem Objectivglas *M* und dem Ocular *R* sind zwei Linsen *P* und *Q*, welche um die Summe ihrer Brennweiten von einander abstehen.

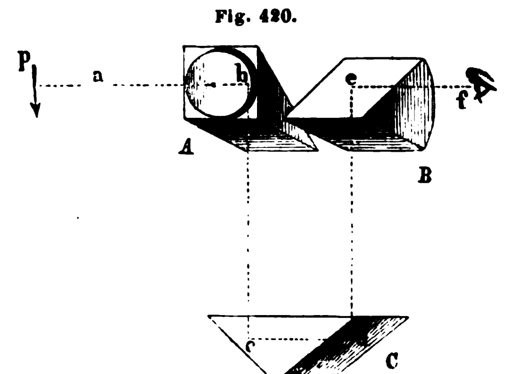
Fig. 419.



Das verkehrte Bild eines entfernten Gegenstandes *A B* fällt nach *b a*. Der Abstand dieses Bildes von *P* ist gleich der Brennweite von *P*. Die von *a* kommenden Strahlen gehen daher nach der Brechung parallel mit dem Hauptstrahl *a O* fort und fallen so auf die Linse *Q*. Dasselbe geschieht mit den von *b* kommenden Strahlen. So entsteht in der Brennweite von *Q* das aufrechte Bild a″ b″, welches durch das Ocular *R* in einem Abstand, welcher seiner Brennweite entspricht, betrachtet wird, und darum dem Auge als ein vergrössertes Bild *a′ b′* erscheint. Das Ocular *R* wird häufig wie in Fig. 335, S. 281, aus zwei Linsen zusammengesetzt, wo alsdann die vierte Linse zur Achromatisirung dient. Häufig befindet sich auch ein auf diese Art zusammengesetztes Ocular bei den astronomischen Fernröhren, um sie als terrestrische gebrauchen zu können.

Dove wendet unter dem Namen *Reversionsprisma* zwei, auf die im §. 240 angegebene Art, senkrecht zu einander stehende Prismen vor dem Ocular des astronomischen Fernrohrs an, um das Bild umzukehren.

Fig. 420.



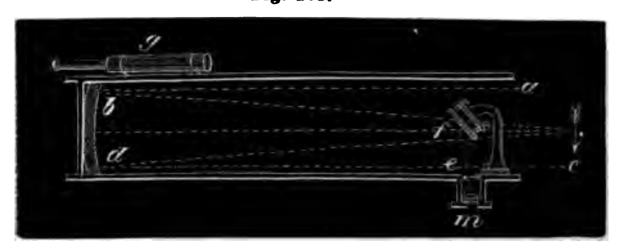
Porro hat eine ähnliche Anwendung der Prismen in seiner Lunette getroffen, welche auf Folgendem beruht: *A* in Fig. 420 ist ein auf der Vorderseite convexes achromatisches Prisma, welches die Stelle des Objectivglases vertritt und die von dem Object *p* kommenden Lichtstrahlen durch innere Reflexion auf das Reversionsprisma *C* wirft. Dieses sendet die Strahlen nach dem Ocularprisma *B*, welches auf der gegen das Auge *f* gerichteten Fläche convex und achromatisch ist. Die Lichtstrahlen nehmen

n durch die Linie *abcdef* angedeuteten Weg. Die Summe der Brennweiten von und *B* ist der Länge des Weges *bcde* gleich; desshalb wird das Fernrohr beatend verkürzt und bietet bei unfestem Stande, z. B. zu Pferde, viele Bequemhkeit. Mit einem Distanzmesser versehen, leistet es der Artillerie gute Dienste.

§. 297.

Das *Newton*'sche Fernrohr, Fig. 421, besteht aus einem Hohlspiel *bd* und einem gegen die Achse des Fernrohres unter 45⁰ geneigten

Fig. 421.



ınspiegel *f*. Dadurch werden die von einem entfernten Punkte kom-ınden Lichtstrahlen *ab* und *cd* vor ihrer Vereinigung auf den Spiegel ıo zurückgeworfen, dass sie sich nach der Reflexion von diesem in ıem Punkte *e* durchschneiden. Eine Linse *m*, welche von *e* um ihre ennweite entfernt ist, bricht die von *e* kommenden Lichtstrahlen so, ss sie parallel an dem Auge ankommen, und also, wie bei dem astromischen Fernrohre, ein deutliches Bild erzeugen. Dasselbe gilt von lem andern Punkte des gesehenen Objectes. Man sieht ohne Schwie-;keit ein, dass die Vergrösserung dieser Fernröhren gerade wie bei n astronomischen Fernröhren berechnet werden muss, weil sich ein ncaver Spiegel wie ein convexes Glas verhält. Um dieses Telescop chter zu richten, ist an demselben ein kleines Fernrohr *g*, welches der *cher* heisst, angebracht. Die besten *Newton*'schen Fernröhren verfert *Amici* in Modena.

Steinheil hat in neuerer Zeit durch Politur einer sehr dünnen Silberschichte, er nach *Liebig's* Methode auf einer hohlgeschliffenen Glasscheibe niederschlug, en sehr vollkommenen Hohlspiegel gewonnen und damit Telescope von ausgechneter Lichtstärke, Schärfe und Wohlfeilheit hergestellt.

§. 298.

Bei dem *Herschel*'schen Spiegel-Telescope ist der kleine Spiegel *f* g. 421) und die Seitenöffnung weggelassen; dagegen ist die Achse ı Hohlspiegels selbst etwas seitwärts geneigt, damit das Bild an den nd fällt und dort durch ein concaves oder convexes Ocularglas be-chtet werden kann. Diese Telescope müssen natürlich eine grosse ffnung haben, indem der Kopf des Beobachters vor der Oeffnung sich findet, durch welche die Lichtstrahlen einfallen. Eines solchen Tele-ıpes, welches 40 Fuss lang war, 4 Fuss im Durchmesser hatte, 7000-l vergrösserte, und 36500mal mehr Licht in's Auge brachte, als ohne nstliche Mittel von demselben Objecte dahin gelangen konnte, bediente h *W. Herschel*, als er den Himmel durchsuchte. Der Sirius erschien rin mit einer Helle, welche das Auge blendete. Ein Refractor, der sselbe leisten sollte, müsste ein Objectiv von 40 Zoll Durchmesser

haben, wie man es wohl schwerlich jemals zu Stande bringen wird. Lord *Rosse* hat im Jahr 1845 ein noch grösseres Spiegel-Telescop bei Dublin aufgestellt, dessen Spiegel einen Durchmesser von 6 Fuss und eine Brennweite von 56 Fuss hat.

§. 299.

Das *Gregory*'sche Spiegel-Telescop, Fig. 422, hat einen in der Mitte durchbohrten Hohlspiegel *ab*, welcher die von einem entfernten Gegenstande kommenden Lichtstrahlen in *de* zu einem Bilde vereinigt. Der kleine Hohlspiegel *c* steht um etwas mehr als seine Brennweite von *de* ab, und wirft daher die reflectirten Strahlen nach der kreisförmigen Oeffnung *mn* zurück, in deren Nähe nun ein zweites aufrechtes Bild entsteht, welches durch das Ocularglas *g* betrachtet wird. Der Spiegel *c* kann dem Hohlspiegel *ab* durch eine Schraube *b* genähert werden, um das Telescop für verschiedene Entfernungen und Augen gebrauchen zu können. Die *Cassegrain*'sche Einrichtung unterscheidet sich von der vorigen bloss dadurch, dass der kleine Spiegel convex ist, und also die Stelle eines concaven Ocularglases vertritt. Es verhält sich also wie ein Galiléisches Fernrohr, ist jedoch dunkel und unbequem.

Fig. 422.



§. 300.

Fig. 423.



Das gewöhnliche, *zusammengesetzte Mikroscop*, Figur 423, besteht aus der Objectivlinse *a*, der Ocularlinse *c* und der Collectivlinse *b*. Das Object *mn* befindet sich etwas ausser der Brennweite von *a*. Dadurch entsteht von ihm in *op* ein vergrössertes, aber verkehrtes Bild, welches durch die beiden andern Linsen, wie durch ein einfaches Mikroscop betrachtet wird. Oder die Linse *b* steht zwischen dem Bilde *op* und dem Objectiv *a*. In diesem Fall vereinigt sie die Lichtstrahlen zwischen *b* und *c* zu einem deutlichen Bilde, und heisst Collectivlinse. Das gebräuchlichste Ocular dieser Art ist das *Huyghen*'sche, bei welchem sich die Brennweiten von Ocular und Collectivlinse verhalten wie 1 zu 3, und ihr Abstand gleich der Differenz ihrer Brennweiten ist. Der Zweck der Collectivlinse, welche zuweilen auch näher bei der Objectivlinse angebracht wird, besteht in der Vergrösserung des Gesichtsfeldes und in der Achromatisirung des Ocularglases. Die Abweichung des ersten Bildes *op* wegen der Farbenzerstreuung und der Kugelgestalt der Objectivlinse wird entweder durch

aplanatische Linsen oder dadurch gehoben, dass man die Objectivlinse aus zwei oder drei achromatischen Doppellinsen zusammensetzt, welches noch den Vortheil hat, dass man den einzelnen Linsen eine grössere Oeffnung geben, und dadurch mehr Lichthelle in's Auge bringen kann. Zur Beleuchtung durchsichtiger Objecte dient ein kleiner Hohlspiegel; für undurchsichtige wendet man ein convexes Glas an, welches die Lichtstrahlen auf dem Objecte vereinigt.

Statt des Hohlspiegels, in dessen Focus das Object sich befinden muss, wenden Andere auch Planspiegel an. *Wollaston* befestigte über diesen und unter das Object eine plan-convexe Linse, deren ebene Seite nach oben gekehrt ist und an einem senkrechten Stab auf und ab geschoben werden kann, damit das Object genau in ihren Brennpunkt zu stehen kommt. *Dujardin* verbesserte diese Einrichtung, indem er an die Stelle dieser Linse ein achromatisches Linsensystem, aus drei Linsen bestehend, brachte. Um dieses genau einzustellen, legt man ein Planglas an die Stelle des Objects und stellt das Mikroscop so auf, dass man auf diesem Glas das Bild eines entfernten Gegenstandes, z. B. des Blitzableiters von einem benachbarten Hause, deutlich sieht. Ist die Beleuchtung zu stark, so stellt man zwischen das Fenster und das Mikroscop eine drehbare Scheibe von schwarzer Pappe, in welcher Oeffnungen von verschiedener Grösse sind, oder man bringt unter dem Object Blendungen mit Oeffnungen von verschiedenem Durchmesser an oder beides zugleich.

Die beste Prüfung der Mikroscope auf ihren Achromatismus und die Vermeidung der sphärischen Aberration hat *Goring* vorgeschlagen. Man bringt zu diesem Zweck auf eine matte schwarze Unterlage ein kleines Quecksilberkügelchen, welches bei starken Vergrösserungen für das freie Auge kaum sichtbar sein muss, und betrachtet es in der Nähe des Fensters durch das Mikroscop. Das kleine Fensterbild auf dem Kügelchen muss, wenn die Objectivlinsen achromatisch sind, ganz farblose Ränder haben. Zeigt es keine Lichtnebel und verschwindet es beim Auf- und Abwärtsschrauben ohngefähr gleichschnell, so ist auch die sphärische Abweichung sehr gering. Die Deutlichkeit der Bilder setzt voraus, dass ihre Umrisse scharf und bestimmt sind und ihr Detail eben so vollkommen erkannt wird. Ersteres schreibt man ihrer definirenden, letzteres ihrer penetrirenden Kraft zu. Die erstere prüft man durch die Haare der Hausmaus, auf denen man die weissen Stellen scharf begränzt haben muss, oder durch die Haare der Fledermaus, welche in deutliche Trichterchen zerlegt werden. Für die Prüfung der penetrirenden Kraft dienen verschiedene Arten von Schuppen auf Schmetterlingsflügeln, so wie die Panzerthierchen navicula attenuata und navicula angulata. Die gelben Schuppen von Hipparchia janira zeigen leicht Längenstreifen; bei 300maliger Vergrösserung erscheinen in vorzüglichen Mikroscopen aber auch Querstreifen, die nur $\frac{1}{1200}$ Millimeter Abstand haben. Auf der navicula attenuata sieht man nebst den Längenstreifen bei grösserer Schärfe des Mikroscopes auch Streifen, die dazu senkrecht sind. Die navicula angulata hat scheinbar zwei Systeme von Streifen, die unter 45° gegen die Längenachse geneigt sind, in der That aber sich unter den besten Mikroscopen in einzelne, regelmässig geordnete Knöpfchen auflösen. Ein ganz vorzügliches Mittel zur Vergleichung mehrerer Mikroscope unter einander ist aber die *Nobert*'sche Platte. Auf ihr sind 30 Gruppen von feinen Linien befindlich, deren Abstände 1000 bis 125 Millionstel einer Paris. Linie betragen. Die erste Gruppe wird durch gute Mikroscope schon bei 50facher Vergrösserung in einzelne Linien deutlich zerlegt. Je mehr solche Gruppen durch das Mikroscop deutlich in Linien zerlegt werden, desto grösser ist natürlich die penetrirende Kraft des Instrumentes. Doch muss dabei das Licht schief auffallen, damit die Striche sichtbar werden. Zu diesem Zweck befestigt *Plössl* den Beleuchtungsspiegel an *zwei* beweglichen krummen Armen, damit er sich in einer Kugelfläche bewegen kann, deren Halbmesser seiner Brennweite gleich ist. Stellt man ihn nun so, dass die Achse des Lichtkegels, den er zurückwirft, schief gegen den Objectentisch, aber senkrecht zu den *Nobert*'schen Streifen ist, so werfen diese ihren grössten Schatten und werden am deutlichsten. Die besten Mikroscope gewinnen nach den von *Hugo von Mohl* angestellten Vergleichungen nicht mehr an penetrirender Kraft, wenn ihre Vergrösserung über das 300fache gesteigert wird. Doch kann man durch ein von *Amici* erfundenes Mittel die Schärfe

und Helle der Bilder bei 800 bis 1000maliger Vergrösserung noch bedeutend steigern, wenn man zwischen das durch ein Deckgläschen geschützte Object und die Objectivlinse einen Wassertropfen bringt, der an beiden adhärirt. Die Objectivlinsen müssen zu diesem Zweck anders als gewöhnlich construirt werden, was *Hartnack* in Paris vorzüglich gelang. In Mohl's Mikrographie findet man eine vollständigere Anleitung zum Gebrauch und zur Prüfung der Mikroscope. Die Grösse des Gesichtsfeldes bestimmt man durch Mikrometer oder Glasplättchen, auf denen ein Zoll in 1000 oder mehr Theile getheilt ist. Je mehr solcher Theilstriche in dem Instrument übersehen werden, desto grösser ist natürlich das Gesichtsfeld. Zugleich dient, wie in §. 11 gesagt wurde, ein solches Mikrometer auch zum Messen kleiner Gegenstände.

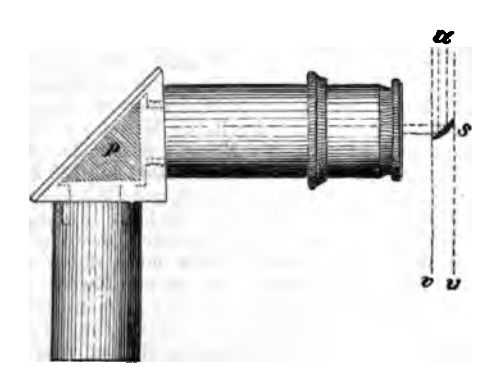
Die Vergrösserung bestimmt man am besten durch das von *Jacquin* angegebene Verfahren, indem man an die Stelle des Objects ein Mikrometer legt und dieses durch einen über dem Ocularglas unter 45° angebrachten kleinen Spiegel betrachtet. Befindet sich nun in derselben Richtung und in der Weite des deutlichen Sehens ein Maassstab und gehen z. B. 12 Theile des Mikrometers auf einen Zoll desselben, während dieser 1000 Theilen des Mikrometers gleich ist, so ist die Vergrösserung 1000 : 12 oder 83fach. Durch das Mikrometer kann man auch die Grösse kleiner Gegenstände, die man darauf legt, ohngefähr bestimmen; noch genauer aber durch das von *Fraunhofer* erfundene Schraubenmikrometer. Es beruht darauf, dass man mittelst einer feinen Schraube das Object unter dem Mikroscope so lange verschiebt, bis der feste Faden des Mikroscops beide Gränzen des Objects nach einander berührt. Der Werth der Bewegung des Fadens wird durch einen an die Stelle des Objects gelegten Maassstab bestimmt.

Um die Winkel der Seiten eines mikroscopischen Gegenstandes, z. B. eines Krystalls zu messen, muss in der Brennweite des Oculars ein feiner Faden aufgespannt sein und die Drehung des Oculars um seine Achse durch einen zu ihr senkrechten getheilten Kreis gemessen werden können. Man dreht alsdann das Ocular zuerst so, dass der Faden eine Seite des Krystalls bedeckt und liest an der Theilung die Richtung des Fadens ab. Dann dreht man ihn, bis er die andere Seite des Krystalls deckt. Der Unterschied beider Ablesungen ist der gesuchte Winkel.

Um die Wirkung des polarisirten Lichtes auf sehr kleine krystallinische oder organische Körper zu finden, befestigt man auf der Blendung unter dem Objectivtischchen des Mikroscops ein Nicol'sches Prisma und setzt ein zweites solches Prisma auf das Ocular zwischen dieses und die Objectivlinse. Durch die Drehung des Oculars mit dem zweiten Prisma und durch die des Objects findet man dann z. B. die Richtung seiner optischen Achsen, wenn der Körper doppeltbrechend ist.

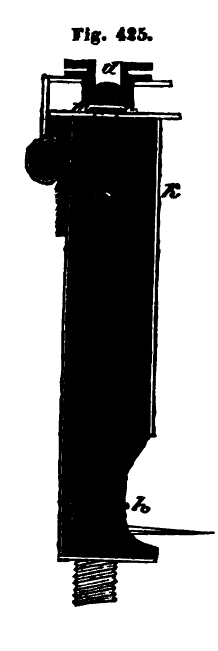
Zum Nachzeichnen der in dem Mikroscop gesehenen Gegenstände gibt man dem oberen Theile desselben die Form wie in Fig. 424. Die Lichtstrahlen, welche von dem Objectivglas kommen, fallen vor ihrer Vereinigung auf ein sehr reines Glasprisma *P* und werden von der unter 45° geneigten längern Seite durch das Ocular nach dem Sömmering'schen Stahlspiegelchen *s* reflectirt. Dieses hat höchstens 1''' im Durchmesser, ist gleichfalls unter 45° geneigt und wirft das Bild in das bei *a* befindliche Auge, welches auf ein in der Richtung *av* liegendes Papier herabsieht. Indem nun die Pupille des Auges kleiner ist als das Spiegelchen, fallen Lichtstrahlen von ihm und dem darunter befindlichen Papier auf dieselbe Stelle der Netzhaut. Man sieht darum auf dem Papier das mikroscopische Bild und kann es mit einem Bleistift, dessen Spitze in gleiche Richtung gebracht ist, nachzeichnen.


Fig. 424.



Von vorzüglicher Güte sind die Mikroscope von *Plössl* in Wien, die von *Pistor* und *Schiek* in Berlin, von *Oberhäuser*, jetzt *Hartnack* in Paris, und besonders von *Amici* in Modena. Letzterer hat zuerst den Einfluss der Deckgläser nachge-

Fig. 425.



wiesen und beseitigen gelehrt. Durch ein Planglas wird das unter demselben befindliche Object gleichsam genähert und es können auch die von einem Punkt unter demselben ausfahrenden Strahlen, wie eine leichte Construction zeigt, nicht wieder in einen Punkt durch ein von sphärischer Aberration freies Glas vereinigt werden, sondern es sind dazu besondere Objectivgläser nöthig, welche aber durch eine eingeschaltete Linse für frei liegende Objecte corrigirt werden. *Wollaston's* Mikroscop, Fig. 425, beruht auf der Beobachtung, dass alles Licht, welches nicht zur Erleuchtung des Objects dient, das deutliche Sehen schwächt. Darum wird das Licht durch einen Planspiegel *i* aufgefangen und sodann durch eine planconvexe Linse *k* concentrirt und auf das Object *mn* geleitet. Die vergrössernde Ocularlinse besteht aus zwei planconvexen Linsen *d* und *e*, deren Brennweiten sich ohngefähr wie 3 : 1 verhalten und deren Entfernung 1,4 der kleinsten Brennweite ist. Dieses Mikroscop ist eigentlich ein *einfaches*, wird aber wegen der Einrichtung seines Oculars ein *Dublet* genannt. Auch das Fernrohr kann als Mikroscop gebraucht werden, wenn man vor dessen Objectiv eine Linse befestigt, in deren Brennpunkt sich der zu betrachtende Gegenstand befindet. Stellt man das Fernrohr auf einen sehr entfernten Gegenstand richtig ein, und bringt man die Linse nachher vor dasselbe, so kann man ihre Brennweite sehr genau bestimmen, wenn man den Abstand misst, in welchem sich vor ihr ein Object befindet, welches auf obige Art deutlich gesehen wird.

§. 301.

Im *Sonnenmikroscop*, Fig. 426, wird das von der Sonne kommende Licht durch den Planspiegel *m i*, oder den Fig. 288, Seite 245, beschriebenen Heliostat, parallel mit der Achse der Collectivlinse *r i* auf letztere

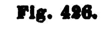
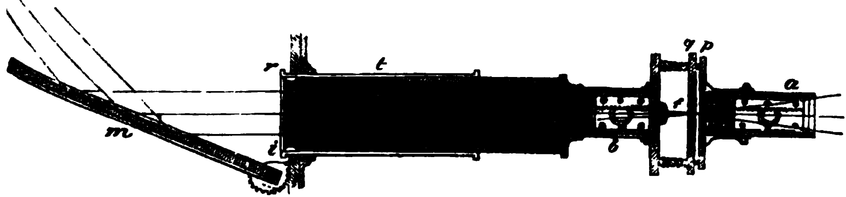


Fig. 426.

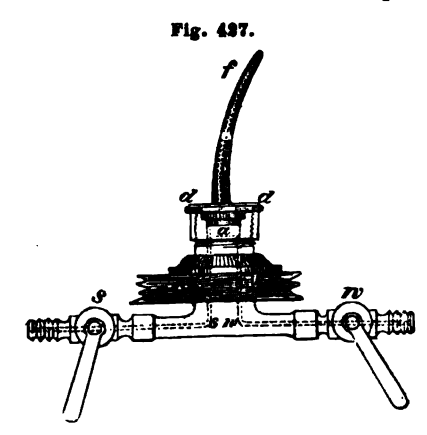


reflectirt. Die Strahlen gehen alsdann convergirend auf eine zweite Linse *f* und werden dadurch in einem sehr kleinen Raume bei *f* vereinigt. In diesen wird das Object gebracht, und folglich sehr stark beleuchtet. Etwas ausserhalb ihrer Brennweite ist die achromatische Objectivlinse *o* vor diesem Object befestigt. Diese erzeugt darum in einem gewissen Abstand ein verkehrtes Bild des Objectes, welches auf einem durchsichtigen Schirm oder einer weissen Wand aufgefangen werden kann. Die gezähnte Stange bei *a* mit dem Trieb dient zur Verschiebung der Objectivlinse *o*, damit das Bild die gehörige Deutlichkeit erhält. Zwischen die Platten *p* und *q* wird das in einem Schieber befindliche Object gebracht. Das Gewinde bei *b* dient zur Verschiebung der Collectivlinse *f* bei Anwendung verschiedener Objectivlinsen. Das Sonnenmikroscop kann nie dieselbe penetrirende Deutlichkeit wie ein gutes

Mikroscop erreichen, weil die Entfernung der Bilder von dem Object sehr gross sein muss, wenn die Vergrösserung beträchtlich sein soll. Es dient aber, wie alle nachfolgenden Instrumente, zur objectiven Darstellung, und also für Viele zugleich. Das *Megascop* ist ein ähnliches Instrument und dient dazu, um direct vergrösserte oder verkleinerte Copien einer Zeichnung oder eines Basreliefs u. dgl. zu machen. Es hat aber nur *eine* achromatische Linse, vor der das Object steht, von dem man ein Bild auf dem Schirm entwerfen will, um es nachzuzeichnen. Das Object wird von einem zwischen ihm und der Linse befindlichen drehbaren Spiegel erleuchtet.

Statt des Sonnenlichtes bedient man sich in neuerer Zeit auch des *Drummond*'schen Kalklichtes, §. 205, zur Erleuchtung des Mikroscopes, mit folgender Vorrichtung: Die beiden Gasarten werden im comprimirten Zustande aus den Gasbehältern durch Röhren von Gutta percha in die metallene Röhre *s w*, Fig. 427, geleitet. In dem kleinen Raum *a* vereinigen sich diese Gase und strömen durch eine Schichte von 30 bis 50 feinen Scheibchen aus Drahtgeflecht in die Röhre *f*, welche durch den Schraubendeckel *d d* gehalten wird. Aus der Röhre strömt das Knallgas auf einen Cylinder von Kalk, der mit Gummi angemacht ist. Die Gasbehälter sind Kautschucksäcke von 1 bis 2 Kubikfuss. Das Gas wird in ihnen durch Gewichte comprimirt, und durch die Hähne *s* und *w* werden die beiden Gasströme so regulirt, dass ihre Mischung zu Knallgas so richtig als möglich ist, was man aus ihrer Wirkung auf den Kalkcylinder erkennt. Diese ist so gross, dass ein Cylinder von 1/2 Zoll Durchmesser ein Licht verbreitet, welches 153mal stärker ist als das einer Wachskerze. Der Kalk-Cylinder steht im Brennpunkt eines Sammelglases, durch welches die Lichtstrahlen convergirend auf das Object geleitet werden. Die Wirkung des Kalklichts steht aber dem der Sonne weit nach. Aus dieser Ursache hat man das glänzende Licht, welches zwischen zwei Kohlenspitzen entsteht, wenn ein starker galvanischer Strom hindurchgeleitet wird, zur Benutzung vorgeschlagen. Das dadurch erhaltene *photoëlektrische Mikroscop* wird unter dem Abschnitt von der Elektrizität beschrieben werden.

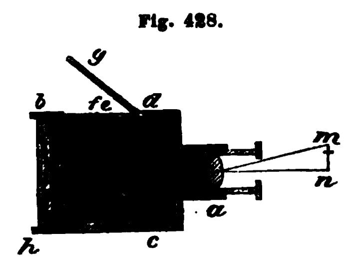
Fig. 427.



§. 302.

Die *Camera obscura*, Fig. 428, besteht gewöhnlich aus einem Kasten, vor welchem ein verschiebbares convexes Glas *a* angebracht ist, welches die von dem Objecte *m n* kommenden Lichtstrahlen so bricht, dass sie nach der Reflexion von einem unter 45° geneigten Spiegel *b c*, auf einem mattgeschliffenen Glase *b d*, ein deutliches Bild hervorbringen. Der Deckel *d g* dient zur Abhaltung fremden Lichtes von dem matten Glase. *Chevalier* hat ihr folgende Einrichtung gegeben: Ein Glasprisma *a b c*, Fig. 429, welches vorne convex, bei *b* concav, und bei *a c* plan geschliffen ist, vereinigt die von *m n* kommenden Licht-

Fig. 428.



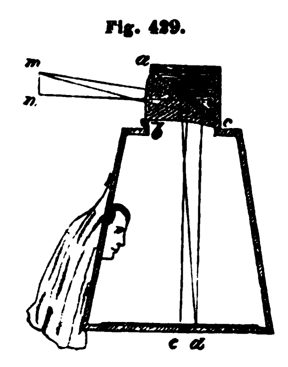
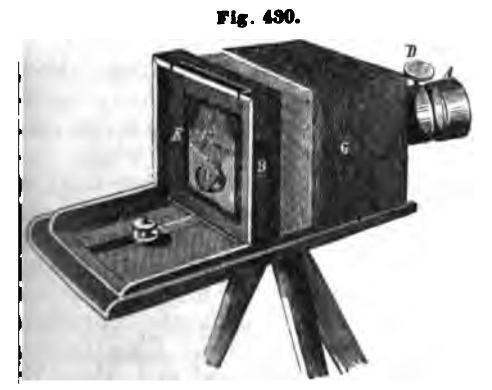


Fig. 429.

strahlen auf einer weissen Tafel bei *de*. Die reflectirende Planseite *ac* des Prisma's wird, bei weniger vollkommenen Apparaten dieser Art, durch einen Spiegel ersetzt, und die convexe Seite desselben durch ein Linsenglas. Die *Camera obscura* wird meistens zum Nachzeichnen entfernter Gegenstände benutzt. Die *Camera clara* ist von der zuerst beschriebenen *Camera obscura* nur dadurch verschieden, dass die Stelle des matten Glases eine grosse Glaslinse vertritt, auf welcher sich das Bild mit scharfen Umrissen zeigt.

§. 303.

Der Wunsch, die Bilder der *Camera obscura* zu fixiren, hat zuerst in *Wedgwood* den Gedanken erweckt, sich dazu des mit Chlorsilber getränkten Papiers zu bedienen. *H. Davy* stellte mittelst des Sonnenmikroscopes die ersten Abbildungen kleiner Gegenstände auf diese Weise dar; aber er vermochte es nicht, sie gegen die fortwährende Einwirkung des Lichtes auf das Chlorsilber zu schützen. Auch sind die entstehenden Bilder *negativ,* d. h. an den Stellen, welche am hellsten sein sollen, dunkel, und an den dunkeln weiss. *M. Niepce* gelangte nach vielen mühsamen Versuchen auf einem ganz andern Wege dazu, dauernde Bilder der *Camera obscura* auf Glas, Silber und Steinplatten darzustellen, indem er die Einwirkung des Sonnenlichtes auf sehr dünne Schichten des Firnisses aus Judenpech und Lavendelöl benutzte. Dadurch wurde *Daguerre* zum Theil auf das von ihm erfundene und mit Recht von der ganzen Welt bewunderte Verfahren geleitet, Lichtbilder von grosser Deutlichkeit darzustellen. Es besteht im Allgemeinen in Folgendem: Eine mit reinem Silber plaquirte und polirte Kupferplatte, die vorher mit verdünnter Salpetersäure und Bimsstein oder Trippel sorgfältig abgerieben wird, setzt man im Dunkeln und bei gewöhnlicher Temperatur den aus dem Jod oder Chlorjod sich entwickelnden Dämpfen aus, bis sich eine gleichförmige Jodschichte von goldgelber Farbe darauf gebildet hat. Hierauf wird sie über eine Schaale mit Bromkalk der Einwirkung der Bromdämpfe ausgesetzt, bis sie eine rosenrothe Farbe angenommen hat. In diesem Zustand setzt man sie auf's neue den Joddämpfen halb so lange aus, als das erstemal, bis sie violett geworden ist. Nun wird die Platte dem Licht in der Fig. 430 abgebildeten Camera obscura ausgesetzt. Das hölzerne Kästchen besteht aus einem festen Theil *C* und einem beweglichen *B*. In einer Messingröhre *A* ist das achromatische Objectivglas, welches durch eine gezähnte Stange und einen Trieb mittelst des

Fig. 430.


Knopfs *D* hin- und herbewegt werden kann. Die dem Objectiv gegenüber befindliche Wand wird durch eine matte Glastafel *E* gebildet, die in einen Rahmen gefasst ist, den man herausnehmen kann. Das verkehrte Bild der Person, die z. B. abgebildet werden soll, wird immer deutlicher, indem man den beweglichen Theil des Kastens *B* verschiebt und zuletzt mittelst des Knopfs *D* genau in die Vereinigungsweite des Objectivs bringt. Sobald das Bild den möglichsten Grad der Schärfe hat, bringt man genau an die Stelle der matten Glastafel ein Rähmchen mit der jodirten Silberplatte. Nach einem gewissen Zeitraum, der sich nach der Intensität des Lichtes und den angewendeten Dämpfen richtet, von $^1/_2$ Sekunde bis mehrere Minuten wechselt, und nur durch Versuche bestimmt werden kann, nimmt man die Platte aus der *Camera obscura* heraus. Sie enthält nun eine leichte, nur sehr wenig, meistens gar nicht sichtbare Zeichnung, welche dadurch erst hervortritt, dass man sie den Dämpfen von Quecksilber, welches bis zu 75^0 erhitzt ist, aussetzt. Das Jod wird dann durch Auflösung wieder von der Platte entfernt, indem man sie entweder in eine heisse Kochsalzlösung oder in eine kalte Lösung von unterschwefligsaurem Natron bringt. Durch Aufgiessen von heissem destillirtem Wasser wird sie zuletzt gänzlich gereinigt, und nachdem sie getrocknet ist, unter Glas vor Staub und Berührung geschützt. Damit das Bild nicht leicht abgewischt werden kann, bringt man die Platte in eine schwache Lösung von Chlorgold und unterschwefligsaurem Natron. In dieser löst Silber sich auf, während das Gold sich auf das Quecksilber und Silber der Platte in einer dünnen durchsichtigen Schicht niederschlägt und das Bild nicht nur schützt, sondern auch die Intensität der hellen Stellen erhöht.

Das *Daguerreotype* beruht auf der chemischen Wirkung des Lichtes. Indem sich im Dunkeln Jod und Brom mit dem an der Oberfläche befindlichen Silber verbinden, entsteht eine dünne Schichte von Jod- oder Bromsilber. Wo das Licht einwirkt, wird das Jod in Gasform wieder frei und das Silber bleibt als ein schwarzes metallisches Pulver zurück. Daher entsteht das negative Bild, welches da am schwärzesten ist, wo das Licht am hellsten war. An den Stellen, wo aber mehr Silber reducirt ist, condensirt sich nachher mehr Quecksilber. Desshalb kommt nun die Zeichnung zum Vorschein, und es entsteht ein positives Bild, weil da, wo mehr Quecksilber condensirt wird, eine matte, das Licht nach allen Seiten zerstreuende Fläche sich bildet. Diese erscheint weiss, wenn man die Platte so hält, dass die in der Einfallsebene des Tageslichts reflectirten Strahlen das Auge nicht treffen können. Wird dagegen die Platte so gehalten, dass diese das Auge erreichen, so erscheinen die matten Stellen dunkel und die andern hell, wegen des relativ schwächern Lichtes, welches von erstern zurückgeworfen wird.

Das Verfahren von *Davy*, Lichtbilder auf Papier darzustellen, ist durch *Talbot* und später durch Andere zu einem noch höhern Grad von Vollkommenheit gebracht worden. An der Stelle des Papieres ist für Erzeugung eines negativen Bildes zuerst durch *Niepce* Eiweiss, sodann Collodium durch *Archer* angewendet worden. Beide bilden eine dünne Schichte auf einer reinen Glastafel. Das zuletzt genannte Verfahren der *Photographie* beruht im Wesentlichen auf Folgendem: Eine Lösung von Jodkalium in Alkohol wird mit Collodium gemischt und diese Mi-

schung im Dunkeln auf eine Glasplatte gegossen und gleichförmig ausgebreitet, das Ueberflüssige aber abgegossen. Hierauf wird die Platte senkrecht in eine wässerige Lösung von salpetersaurem Silberoxyd getaucht, und es bildet sich Jodsilber. Bringt man nun die Platte in die Camera obscura, indem die Collodiumschichte gegen das Licht gekehrt ist, so wird das Jodsilber in kurzer Zeit an den Stellen leichter reducirbar, die von dem Licht getroffen worden sind. Nimmt man daher die Platte heraus und übergiesst sie mit Pyrogallussäure, so wird an diesen Stellen das Silber rasch reducirt; sie werden schwarz und die andern bleiben heller, daher heisst das Bild ein *negatives*. Damit diese Schwärzung im Tageslicht sich nicht fortsetzt, müssen nun die übrigen empfindlichen Substanzen aus der Collodiumschichte entfernt werden, welches dadurch geschieht, dass man die Platte mit einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron übergiesst und dann mit Wasser abwascht. Das negative Bild ist nun *fixirt*. Ist es getrocknet, so wird es mit einer dünnen Firnissschichte überzogen. Legt man nachher dieses Bild auf ein mit Chlorsilber imprägnirtes Papier und setzt man es dem Sonnenlichte aus, so dringt da wenig Licht durch, wo das negative Bild schwarz ist, und viel, wo es hell ist. Es werden also die dunkeln Stellen des ersten auf dem zweiten hell und die hellen dunkel. So erhält man ein *dositives* Bild. Das unzersetzte Chlorsilber wird alsdann durch unterschwefligsaures Natron und Wasser weggenommen, um das Bild zu fixiren.

Im Gefolge der Photographie sind durch *Niepce* folgende, höchst merkwürdige Entdeckungen über die Natur des Lichtes gemacht worden: Setzt man einen Kupferstich, der lange Zeit im Dunkeln gelegen hat, dem Sonnenlichte aus, und legt man ihn nachher im Dunkeln auf ein sehr empfindliches photographisches Papier, so kommt nach 24 Stunden die Zeichnung zum Vorschein. Dasselbe gilt für Photographien. Es geht also von dem insolirten Papier noch lange Zeit nachher eine Lichtwirkung aus. Noch auffallender zeigte diess *Niepce*, indem er nachwies, dass gewisse Körper die Eigenschaft, Silbersalze und andere photographische Substanzen in Folge der Einwirkung des Lichtes zu reduciren, im Dunkeln jahrelang bewahren. Er tauchte z. B. einen sehr weissen Carton in Weinsteinsäurelösung, und setzte ihn nachher 5 bis 6 Stunden lang dem Sonnenlichte aus und schloss ihn in eine Blechkapsel, die zugelöthet wurde. Als er ein Jahr später die Kapsel öffnete, wirkte der Carton noch schwärzend auf photographisches Papier, besonders auf Chlorsilber. Dasselbe gilt für Uransalze und andere Körper.

Zu dem von Talbot erfundenen Verfahren ist ein möglichst feines, homogenes und weisses Papier nöthig. Man legt dieses auf eine Lösung *A* von 4 Theilen salpetersaurem Silberoxyd oder Höllenstein in 100 Wasser, zwei bis drei Minuten lang, und trocknet es nachher in der Dunkelheit. Sodann taucht man es mit der schon präparirten Seite aufwärts in eine Lösung *B* von 6 Theilen Jodkalium, 3 Theilen Bromkalium und 100 Wasser und lässt es 2 bis 3 Minuten darin. Nachdem es, auf einem ausgespannten Faden hängend, im Dunkeln getrocknet ist, kann man es über einen Monat lang zum Gebrauch in einer Mappe aufbewahren. An die Stelle der matten Glastafel in der Camera obscura kann eine reine Glasplatte in schwarzem Rähmchen gebracht werden. Vor der Verfertigung eines photographischen Bildes wird, nachdem, wie bei dem Daguerrotyp, die Kammer richtig eingestellt ist, auf die zuletzt genannte horizontal gehaltene Glastafel eine Lösung *C* von 7 Gewichts-

theilen salpetersaurem Silberoxyd, 15 krystallisirter Essigsäure und 18 destillirtem Wasser gegossen und das obige Papier mit der zuerst präparirten Seite darauf gelegt und sanft mit dem Rand eines zweiten Glases von gleicher Grösse daran gedrückt. Nun wird ein feuchtes Blatt Fliesspapier und das zweite Glas darauf gelegt und dann das zwischen zwei Gläsern befindliche Papier mit der präparirten Seite dem Licht in der Camera obscura ausgesetzt. Wenn ohngefähr die doppelte Zeit wie bei Verfertigung von Daguerrotypen verflossen ist, so nimmt man es heraus, und nachdem man eines der Gläser weggenommen, übergiesst man es mit einer gesättigten Lösung von Pyrogallussäure. Auf diese Flüssigkeit legt man nun das andere Glas mit der Papierseite; die Zeichnung kommt alsdann zum Vorschein. Sie ist zu blass, wenn das Licht nicht lange genug gewirkt hat, und zu schwarz, wenn es zu lange dauerte. Ist das so erhaltene negative Bild aber gut, so legt man das vom Glas abgenommene Papier sogleich in gewöhnliches Wasser, und nachdem es reichlich ausgewaschen ist, taucht man es in eine Lösung von Bromkalium oder unterschwefligsaurem Natron. In diesem löst sich während 25 Minuten alles, vom Licht nicht reducirte Silbersalz auf und das Bild heisst fixirt, weil nun das Licht keine Veränderung mehr darauf bewirken kann. Um es zur Hervorbringung von positiven Bildern zu präpariren, durchdringt man es mit Wachs, indem es nach erfolgter Trocknung auf eine erwärmte Metallplatte gelegt wird, die mit geschmolzenem weissem Wachs bedeckt ist. Sodann bügelt man es zwischen Fliesspapier mit heissem Stahl, bis kein Wachs mehr von ihm abgegeben wird und es die nöthige Durchsichtigkeit hat. Zur Bereitung der positiven Bilder legt man das Papier mit seiner vorher marquirten Seite zwei Minuten lang auf eine Lösung von 4 Kochsalz auf 100 Wasser, trocknet es zwischen Fliesspapier und legt es wieder mit der bezeichneten Seite im Dunkeln auf eine Lösung von 20 Theilen salpetersaurem Silberoxyd in 100 Wasser. Nach 2 bis 3 Minuten wird es herausgenommen, im Dunkeln aufgehängt und getrocknet. Dieses Papier ist schon nach 24 Stunden unbrauchbar. Es wird also vor dieser Zeit mit der bezeichneten Seite auf das negative Bild gelegt. Beide kommen in ein Rähmchen mit einer reinen Glasplatte und einem mit schwarzem Grund versehenen gleichgrossen Brettchen, das negative Bild auf dem Glas liegend. Das Brettchen wird durch Schrauben dagegen gepresst. Setzt man nun das negative Bild dem Tageslicht aus, so schwärzt dieses diejenigen Stellen des dahinterliegenden Papiers, welche den hellen des negativen entsprechen, und so entsteht das positive Bild. Hat dieses die hinreichende Stärke erreicht, so wascht man das Papier zuerst in Wasser, sodann in einer Kochsalzlösung, worin es 5 Minuten lang bleibt, und zuletzt in einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron, während einer ganzen Stunde. Es wird sodann nochmals auf 24 Stunden in eine grosse Schüssel mit Wasser gelegt und letzteres oftmals erneuert, damit alle Reste der Salze entfernt werden. Zuletzt trocknet man zwischen Fliesspapier und nun erleidet es im Lichte keine Veränderung mehr.

Niepce lehrte zuerst den Gebrauch von Eiweiss statt Papier. Man schlägt eine gewisse Menge desselben zu Schnee, woraus sich die zellulösen Häutchen niedersetzen. Ist es klar geworden, so mischt man sorgfältig mit 100 Theilen Eiweiss, 1 Theil Jodkalium und 25 Theile Wasser. Diese Mischung bewahrt man in einem wohlverschlossenen Glase. Hierauf wird die zu dem Bilde bestimmte Glasplatte sorgfältig zuerst mit feinem Trippel und durch gesäuertes Wasser befeuchteter Baumwolle abgerieben und nach erfolgter Reinigung noch mit absolutem Alkohol geputzt und durch ein seidenes Tuch getrocknet. Die Glasplatte wird sodann erwärmt und nun das Eiweiss gleichförmig darauf ausgebreitet. Die getrocknete Glasplatte kommt dann in ein Bad von 8 Theilen salpetersaurem Silberoxyd, 8 Theilen krystallisirbarer Essigsäure und 100 Wasser. Noch feucht wird sie in die Camera obscura gebracht oder auch erst nach mehreren Tagen. Hat das Licht darauf gewirkt, so wird das negative Bild wie oben durch Pyrogallussäure hervorgerufen, welcher einige Tropfen salpetersaure Silberoxydlösung zugesetzt sind. Hat es nun seine volle Deutlichkeit erlangt, so wascht man es in viel Wasser, fixirt es durch unterschwefligsaures Natron, bringt es abermals in Wasser und lässt es trocknen. Mit diesem negativen Bild kann man nach dem vorhin beschriebenen Verfahren positive Bilder auf Papier oder Eiweiss erzeugen.

Am meisten wendet man wegen der Schönheit der Bilder die von *Archer* erfundene Methode an, Lichtbilder auf *Collodium* darzustellen. Man setzt zu dieser *Lösung* von Schiessbaumwolle in Aether und Alkohol etwas Jodkalium und bedeckt damit eine auf vorhin beschriebene Art gereinigte Glasplatte. Wenn die Collodium-

schichte sich gleichförmig verbreitet hat, so taucht man das Glas senkrecht in ein tiefes und schmales Gefäss, welches eine Lösung von 9 Theilen salpetersaurem Silberoxyd auf 100 Wasser enthält, lässt es 2 bis 3 Minuten lang darin, und nachdem es gehörig abgetropft hat, bringt man es noch feucht in die Camera obscura, wo es nicht länger als die Silberplatte bleibt. Um das Bild nachher zu entwickeln, sind zwei Mischungen nöthig: a, aus 2 Theilen salpetersaurem Silberoxyd und 100 Wasser bestehend, und b, aus 10 Theilen Essigsäure, 1/2 Theil Pyrogallussäure und 100 Theilen Wasser gemischt. Von diesen beiden Flüssigkeiten *a* und *b* wird erst im Moment, wo sie auf das Collodium gegossen werden sollen, so viel in gleichen Theilen gemischt, als nöthig ist, um das Glas zu bedecken. Nach dem Uebergiessen kommt das negative Bild zum Vorschein, wenn die Glasplatte beständig geschüttelt wird. Hat das Bild die gehörige Deutlichkeit, so giesst man die Flüssigkeit auf die Seite, wascht es mit Wasser und taucht es in die Lösung von unterschwefligsaurem Natron. Dieses wiederholt man mehrmals, während man das Wasser stets in der Mitte darauf giesst. Hierauf wird das Bild, vor Staub geschützt, getrocknet. Um positive Bilder auf Collodium zu erhalten, wendet man das negative Bild gerade so an, wie es bei den positiven Papierbildern beschrieben wurde; auch wird die mit Collodium oder Albumin überzogene Glasplatte ganz so behandelt, wie es bei der Erzeugung der negativen Bilder auf Collodium oder Glas geschah, nur muss das negative Bild vorher mit einem dünnen Firnissüberzug von Benzin versehen sein.

Negative Bilder erscheinen positiv, wenn man sie auf einen dunkeln Grund, am besten auf schwarzen Sammt legt. Da man die photographischen Arbeiten nicht in der Finsterniss vornehmen kann, so benutzt man den Umstand, dass orangefarbiges Glas fast keine chemischen Strahlen durchlässt, indem man das Tageslicht durch ein solches in den Arbeitsraum fallen lässt.

Ein neues Verfahren von *Dubosq*, das Collodium trocken anzuwenden, ist desshalb sehr bequem, weil die präparirten Glasplatten noch nach langer Zeit brauchbar sind:

Die auf obige Art sorgfältig gereinigte Glasplatte wird mit Collodium gleichförmig überzogen und sodann in eine Lösung von 10 Theilen Höllenstein in 100 Wasser, dem man noch 1 Theil Salpetersäure zusetzt, getaucht. Das Eintauchen hat lange genug gewährt, wenn sich beim Herausnehmen die Flüssigkeit gleichförmig zurückzieht und nicht wie auf einem fetten Körper abfliesst. Hierauf wird die Platte mit grösster Sorgfalt in destillirtem Wasser gewaschen, bis alles freie Silbersalz entfernt ist und sich das Wasser gleichförmig darauf verbreitet. Man lässt sodann die Platte in senkrechter Stellung, indem man Fliesspapier unterlegt, im Dunkeln trocknen. Soll ein Bild auf einer solchen trockenen Platte entstehen, so muss sie ohngefähr doppelt so lang als bei dem früheren Verfahren in der Camera obscura bleiben. Man ruft es entweder sogleich oder einige Tage nachher durch Eintauchen in 5 Theile Höllenstein auf 100 Wasser, 2 bis 3 Minuten langes Trocknen und Uebergiessen mit Pyrogallussäure hervor. Hierauf wascht man sie sorgfältig mit Wasser und fixirt in 100 Theilen unterschwefelsaurem Natron auf 100 Wasser. Ist die Platte nochmals gewaschen und getrocknet, so giesst man eine Schichte Benzin-Firniss darüber. Sobald auch diese an der Luft oder an hellem Feuer getrocknet ist, so wird das Bild vollkommen durchsichtig und klar.

Die Photographie hat seit ihrer Erfindung so grosse Fortschritte gemacht, dass fast keine Kunst und Wissenschaft besteht, die von ihr nicht Nutzen zieht. Sonnenfinsternisse und Mondkarten werden durch sie mit einer Genauigkeit abgebildet, wie sie keine Zeichnung jemals gab. Mikroscopische Gegenstände in einer 600- bis 800maligen Vergrösserung durch ein von *Hartnack* construirtes Instrument photographirt, zeigen Details, die man mit guten Mikroscopen übersehen hat. Umgekehrt macht man von Kupferstichen, Landkarten u. s. w. Abbildungen von grosser Schönheit und verschiedener Grösse. Um einen Kupferstich oder dgl. im kleinsten Raum abzubilden, macht man erst ein kleines negatives Collodiumbild, und davon, mittelst einer Linse von sehr kurzer Brennweite, ein zweites noch kleineres bis zu 1/2 Millim. im Durchmesser gleichfalls auf ein Glasplättchen mit Collodium, welches alsdann positiv ist. Durch eine Loupe oder ein Mikroscop sieht man darauf alle Einzelnheiten des grossen Kupferstiches wieder. Umgekehrt werden durch eine, dem Megascop ähnliche Vorrichtung, die kleinen negativen Bilder, die man zuerst aufgenommen hat, in grössere positive verwandelt. Durch mehrere solche Umkehrungen, die an Grösse successiv wachsen, erzeugt man lebensgrosse Porträts in ganzer Figur, *die nichts zu wünschen* übrig lassen. In Landschaften, die man auf

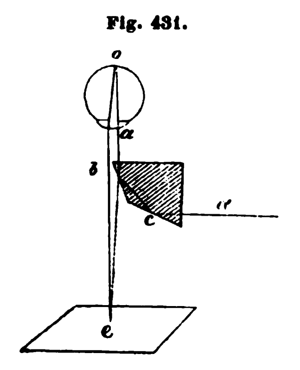
diese Art aufgenommen hat, ist die Luftperspective ganz ausgezeichnet. Die Xylophotographie von *Crookes* oder die Photographie auf Holzplatten ist von grossem Nutzen für die Holzschneider u. s. w.

Niepce de Saint Victor hat auf folgende Weise auch thermographische Bilder, die aber vergänglich sind, erhalten: Auf eine durch heisse Wasserdämpfe erwärmte Metallplatte legt man einen Kupferstich und darauf ein mit salpetersaurer Silberoxyd- und Chlorgold-Lösung imprägnirtes Papier. Es entsteht alsdann eine bläulich-violette Abbildung des Kupferstiches.

§. 304.

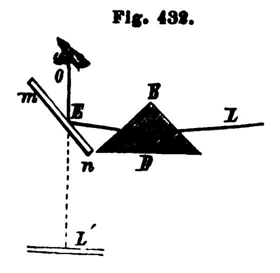
Zum Nachzeichnen naher Gegenstände dient vorzüglich die *Camera lucida* von *Wollaston*, Fig. 431. Sie besteht aus einem sehr reinen Glasprisma *b c*, dessen Seiten bei *b* und *c* so geschliffen sind, dass ein von *d* kommender Lichtstrahl bei *c* und *b* unter sehr spitzen Winkeln auffällt, und folglich in das Auge bei *a* reflectirt wird. Das Auge sieht alsdann in der Richtung *ae* auch zugleich auf das in *e* befindliche Papier, wenn die Reflexion des Strahls *bc* sehr nahe am Rande des Prisma stattfindet, weil durch einen Theil der Pupille der Strahl *abc*, durch den übrigen Theil derselben der Lichtstrahl *oe* auf die Netzhaut gelangt. Indem man nun die Spitze des Bleistifts auf das Papier in die Richtung *oe* bringt, kann man das Bild des Gegenstandes nachzeichnen. Die obere Fläche des Prisma wird durch eine innen geschwärzte Metallplatte gedeckt, welche beweglich ist und am Rande bei *b* einen kleinen Ausschnitt hat, damit das Licht beliebig gemässigt werden kann. Durch ein kleines Stahlspiegelchen, welches man dicht an's Auge bringt, erreichte *Sömmering* denselben Zweck.

Fig. 431.



Amici hat eine Camera lucida construirt, Fig. 432, die bequemer ist, weil man die Lage des Auges ändern kann, ohne dass Bild und Zeichenstift ihre Lage ändern. Die eine Seite des rechtwinklichten Glasprisma *B* ist gegen das Object gerichtet, und die andere ist senkrecht zu einem Glasplättchen *m n*. Der Lichtstrahl *L* erleidet in *D* die totale Reflexion, und indem er nach *E* gebrochen und nach *E O* in das Auge reflectirt wird, nimmt das letztere das Bild des Gegenstandes in *L'* wahr, wo die Spitze des Bleistifts hingesetzt wird, um denselben nachzuzeichnen.

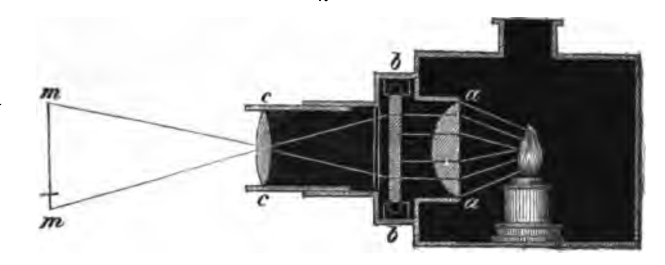
Fig. 432.



§. 305.

Andere unwichtige optische Instrumente, wie der optische Kasten, das Erhöhungsperspectiv und dergleichen, werden als nicht wesentlich hier übergangen. Die *Zauberlaterne*, Fig. 433, besteht aus einem convexen Glas *a a*, welches die von der Lampe kommenden Lichtstrahlen parallel auf ein Glasgemälde wirft, welches man bei *b b* einschiebt. Dadurch wird dieses sehr hell beleuchtet, und indem die Convexlinse *cc*

Fig. 433.



etwas mehr als ihre Brennweite beträgt, von *bb* entfernt ist, erzeugt sie in *mm* auf einer Wand oder einem durchsichtigen Schirm ein deutliches und vergrössertes Bild von dem Gemälde.

Die sogenannten Nebelbilder erhält man dadurch, dass man zwei gleiche Zauberlaternen mit verschiedenen Gemälden so aufstellt, dass beide ihre Bilder auf dieselbe Stelle eines Schirmes werfen müssen. Indem man nun das Objectivglas *cc* der einen Zauberlaterne durch eine Blendung zugedeckt hat, sieht man nur das Bild der andern. Entfernt man aber allmälig diese Blendung und schiebt man in derselben Art eine solche vor die zweite Zauberlaterne, so verwandelt man unmerklich das eine Bild in ein anderes.

VII. Abschnitt.

Von der Wärme.

A. Von der Wärme überhaupt und von den Wärmemessern.

§. 306.

In Verbindung mit dem Lichte erscheint uns die *Wärme*. Ihr Dasein erkennt man selbst da, wo kein Licht auf unser Sehorgan wirkt, durch eine eigenthümliche Empfindung unserer Haut und durch Veränderungen, welche sie in der Dichtigkeit und dem Elektrizitäts-Zustande der Körper veranlasst. Sie erscheint also bald in Verbindung mit dem Lichte, bald unabhängig davon. Auch über die Natur der Wärme gibt es verschiedene Theorien, die sich mehr oder weniger zur Erklärung der Erscheinungen benutzen lassen.

§. 307.

Nach der ältern Ansicht ist die *Wärme* eine *Materie*, welche man den *Wärmestoff* nennt. Dieser wird von einigen Körpern schwächer, von andern stärker angezogen. Wenn darum einem Körper Wärme zugeführt wird, so vermag er sie, vermöge seiner Verwandtschaft zu ihr,

entweder vollständig oder nur zum Theile festzuhalten. So ist z. B. eine grosse Wärmemenge nöthig, um Eis von 0 Grad in Wasser von 0 Grad zu verwandeln. Das Wasser von 0 Gr enthält also mehr Wärme als das Eis von gleicher Temperatur. Diese Wärme nennt man *gebunden* oder *latent*. Wird das Wasser über die Temperatur der umgebenden Körper erhitzt, so gibt es an diese einen Theil seiner Wärme ab. Dieser Theil wird *freier* Wärmestoff genannt.

Nach der neuern Ansicht ist es höchst wahrscheinlich, dass die *freie* Wärme durch Bewegungen des Aethers entsteht. Wo Licht und Wärme gleichzeitig auftreten, wie im Sonnenlichte oder in der strahlenden Wärme eines glühenden Körpers, werden beide durch Schwingungen des Aethers hervorgebracht. Da es aber nach §. 242 in dem Sonnenspectrum auch Wärmestrahlen in dem dunkeln Raum neben dem Roth gibt, so müssen diese in längern Wellen bestehen als das sichtbare Licht. Eine andere Art von Aetherbewegung als die Schwingungen kann dadurch entstehen, dass ein Körper einen Theil seines Aethers abgibt, indem seine Atome in ein anderes Gleichgewichtsverhältniss treten. Wenn z. B. Wasser zu Eis wird, oder Glaubersalz krystallisirt, so wird Wärme frei, oder es tritt Aether aus. Dieses Austreten des Aethers muss aber Bewegungen in den umgebenden Aethertheilchen veranlassen, die uns als Wärme erscheinen. Nach *Krönig* und *Clausius* nehmen dabei im lufterfüllten Raum auch die Gastheilchen eine fortschreitende Bewegung an und bringen durch den Stoss eine mit ihrer Wirkungsfähigkeit zunehmende Wärme hervor. So wenig indessen die erste Theorie bei dem jetzigen Stande der Wissenschaft mehr zu halten ist, und obschon sehr viele Erscheinungen für die Nothwendigkeit einer Bewegungstheorie sprechen, so ist die letztere doch nicht so ausgebildet, dass man sie an die Spitze der Wärmelehre stellen und die einzelnen Erscheinungen wie in der Lehre vom Licht aus ihr mit Leichtigkeit ableiten könnte.

§. 308.

Die Wärme entweicht aus den Körpern zu jeder Zeit und unter allen Umständen, und zwar entweder *strahlend*, wie das Licht, oder durch eine andere Bewegung. Bei der strahlenden Verbreitung der Wärme wird einem entfernten Körper von einem andern Wärme mitgetheilt, ohne dass die zwischenliegenden Körper erwärmt werden; bei der zweiten Art der Verbreitung, die man auch *Leitung* nennt, bewegt sich die Wärme von einem Theilchen zum andern, indem sie jedes derselben erwärmt.

Um sich den Unterschied zwischen der strahlenden Wärme und der auf gewöhnliche Art geleiteten Wärme deutlich zu machen, darf man nur beobachten, was bei einer Glasplatte vorgeht, in deren Nähe man einen erhitzten Körper bringt. Vom ersten Augenblick an gehen Wärmestrahlen durch, und wirken auf der andern Seite auf ein empfindliches Thermometer, ohne dass die Glasplatte merklich erwärmt würde. Zugleich wird aber auch den Massentheilchen der Glasplatte auf der dem erwärmenden Körper zugewendeten Seite Wärme mitgetheilt, und diese pflanzt sich nach und nach bis zur andern Seite fort, so dass die Glasplatte nun ebenfalls strahlende Wärme verbreitet.

§. 309.

Um das Wärmeverhältniss zwischen verschiedenen Körpern unabhängig von der unsichern Angabe des Gefühles zu bestimmen, und um die Zu- und Abnahme der Wärmemenge selbst zu messen, braucht man das *Thermometer*, Fig. 434. Es besteht aus einer hohlen Glaskugel oder einem cylindrischen Gefäss und einer feinen Röhre, welche entweder mit Quecksilber oder Weingeist gefüllt sind. Die Ausdehnung dieser Flüssigkeiten bei zunehmender, und ihre Zusammenziehung bei abnehmender Wärme, werden zur Angabe der relativen Wärmeunterschiede benutzt. Da nun eine Mischung aus destillirtem Wasser und reinem Schnee oder Eis nach einiger Zeit eine unveränderliche Temperatur annehmen muss, indem eine höhere Wärme das Schmelzen von Eis, und eine niedrigere das Gefrieren von Wasser veranlassen würde, so wird das in dem Thermometer befindliche Quecksilber in dieser Mischung immer dasselbe Ausdehnungsbestreben zeigen, und also nur die Röhre bis zu einem gewissen Punkte *a* anfüllen, welchen man den *Gefrierpunkt* nennt. Da man ferner die Bemerkung gemacht hat, dass die Temperatur des Wassers nicht mehr zunimmt, wenn es zu kochen angefangen hat, indem alle neu hinzugefügte Wärme auf die Bildung von Wasserdämpfen verwendet wird, und mit diesen entweicht, so benutzte man dieses bisher zur Bestimmung eines zweiten Punktes *b*, bis zu welchem sich das Quecksilber im Thermometer jedesmal ausdehnt, wenn es bei einem Barometerstande von 76 Centimeter in Wasser getaucht wird, welches in einem eisernen Gefässe siedet. Dieser Punkt heisst der *Siedpunkt*. Zur Bestimmung desselben muss destillirtes Wasser angewendet werden, weil unreines Wasser nicht bei derselben Temperatur in's Kochen geräth. Da auch die Natur des Gefässes Einfluss auf die Siedhitze hat, indem Wasser in metallenen Gefässen schneller siedet als in gläsernen, so schlug *Rudberg* vor, den Siedpunkt nicht durch Eintauchen des Thermometers in Wasser, sondern nur durch Einhüllung desselben in die entstehenden Wasserdämpfe zu bestimmen. Diess ist um so zweckmässiger, als nach der von ihm gemachten Entdeckung, bei demselben Luftdrucke, die Dämpfe siedenden Wassers immer dieselbe Temperatur haben, welches auch die Materie des angewandten Gefässes sein mag, und auch das Wasser am Boden eines erhitzten Gefässes heisser ist als an der Oberfläche. Den Raum zwischen dem Gefrier- und Siedpunkte, welcher bei ungleichen Kugeln und Röhren verschieden ausfallen muss, theilt man auf mancherlei Weise ein. Nach *Réaumur* erhält der Gefrierpunkt die Zahl 0, und der Siedpunkt die Zahl 80; die zwischen beiden liegenden gleichgrossen Theile heissen Wärmegrade. Nach *Celsius'* Eintheilung, welche die *Centesimal*-Eintheilung heisst, wird der Gefrierpunkt mit 0, der Siedpunkt aber mit 100 bezeichnet. Nach *Fahrenheit* setzt man an den Gefrierpunkt die Zahl 32, und an den Siedpunkt 212, so dass also 180 Theile zwischen beiden liegen, und trägt von dem Gefrierpunkte noch 32 Theile abwärts. Der dadurch erhaltene Punkt wird alsdann mit 0 bezeichnet.

Fig. 434.

Den im Nachstehenden angegebenen Temperaturverhältnissen ist

gewöhnlich die Centesimal-Eintheilung zu Grunde gelegt. Als *Einheit für die Wärmemenge* oder als *Wärmeeinheit* wird darum auch diejenige Quantität von Wärme angenommen, welche nöthig ist, *um die Temperatur von 1 Kil. Wasser von 0° bis zu 1° C. zu erhöhen.*

Bei allen obigen Eintheilungen trägt man von 0 an eine Anzahl gleichgrosser Grade abwärts und nennt sie Kältegrade. Man bezeichnet die sogenannten Wärmegrade mit + und die Kältegrade mit —. Durch diese Benennungen ist häufig der Irrthum entstanden, als ob ein Körper, welcher unter 0 Grad erkältet ist, keine Wärme mehr enthalte; während man aus der Verschiedenheit der Kältegrade selbst sieht, dass er noch immer Wärme verlieren könne. Die Theilung bringt man am besten auf der Thermometerröhre selbst an. Da die Wasserdämpfe nicht aufsteigen können, ohne den Luftdruck zu überwinden, so müssen sie bei stärkerem Luftdrucke heisser sein, als bei niedrigem. Wenn also der Siedpunkt der Scala bei einem andern Barometerstande als 76 Centim. bestimmt worden ist, so ist eine Correctur der Lage des Siedpunktes nöthig.

Rudberg hat zur Bestimmung der beiden festen Punkte des Thermometers, welche von *Newton* herzurühren scheint, folgende Anleitung gegeben: Zur Bestimmung des Frostpunktes nimmt man Schnee oder fein geschabtes reines Eis und befeuchtet es mit so viel destillirtem Wasser, dass dadurch eine halbdurchsichtige Masse entsteht. Taucht man das Thermometer bis an das Ende der Quecksilbersäule in diese Masse, so nimmt die Säule bald eine feste Stellung ein. So nahe als möglich an dem Ende der Quecksilbersäule macht man nun einen feinen Diamantstrich. Den Abstand dieses Punktes von dem wahren Nullpunkte bestimmt *Rudberg*, indem er die Thermometerröhre auf einer feingetheilten Scala befestigt, und zuerst die Lage jenes Striches in Beziehung auf die Scala, sodann die Lage des wahren Nullpunktes in derselben Hinsicht durch ein Mikroscop bestimmt und den gefundenen Unterschied auf die Röhre trägt. Der Nullpunkt rückt mit der Zeit höher, und besonders bei Thermometern, die kurz nach der Füllung zugeschmolzen wurden; darum muss man den Nullpunkt erst einige Monate nach dem Zuschmelzen bestimmen und die Lage desselben von Zeit zu Zeit prüfen. Die Ursache dieser Verschiebung liegt wahrscheinlich in einer Veränderung der Glaskugel durch den Luftdruck.

Bei der Bestimmung des Siedpunktes von destillirtem Wasser wirken auf die Höhe desselben zwei Umstände ein: 1) der Druck der Atmosphäre, indem bei höherem Luftdrucke die Siedhitze grösser wird, und 2) die Beschaffenheit des Gefässes, in welchem das Wasser siedet. Ist der Barometerstand = 76 Centimeter, so ist keine Correctur wegen des Luftdrucks nöthig, indem man übereingekommen ist, diese Höhe als normalen Luftdruck bei Bestimmung des Siedpunktes anzunehmen. Ist aber der Barometerstand $76 \pm d$, so ist die Temperatur des Siedpunktes $= 100^0 \pm t$. Nach den Versuchen von *Arago* und *Dulong* wird alsdann $t = 0{,}037818\, d - 0{,}0018563\, d^2$ gefunden. Ist der Abstand zwischen dem Nullpunkte und dem gefundenen Siedpunkte gleich l, so ist der wahre Abstand zwischen 0° und 100° C. bei einer genau cylindrischen Röhre $= l \cdot \frac{100}{100 \pm t}$.

Zu der aus obigen Versuchen von *Rudberg* vorgeschlagenen Bestimmung des Siedpunktes nimmt man eine gläserne Vorlage oder Phiole mit langem Halse und versieht sie oben mit einer Fassung. Durch dieselbe geht ein Glasrohr, welches zur Aufnahme eines Thermometers bestimmt und oben durch einen Kork verschlossen ist. In diesem Kork sind zwei Löcher; das eine, damit im Anfang des Siedens die Luft mit dem Dampfe austreten kann, das andere zur Aufnahme der Thermometerröhre. Zur Seite sind, senkrecht zum Halse der Phiole, zwei offene Röhren angebracht, um dem Dampfe den Austritt zu gestatten. Die Bestimmung des Siedpunktes geschieht durch ein senkrecht zur Achse des Glasrohrs befestigtes Mikroscop auf dieselbe Art, wie die des Nullpunktes. Nach *J. Mariet* ist die Temperatur des Dampfes um 0,15° niedriger, als die des Wassers, welches in Metallgefässen siedet.

Von grosser Wichtigkeit für die Genauigkeit eines Thermometers ist die vollkommen gleichförmige Weite der Röhre. Um eine Röhre in dieser Hinsicht zu prüfen, bringt man einen kleinen Tropfen Quecksilber hinein, und misst, ob die Länge, die er darin einnimmt, bei der Verschiebung desselben überall gleich bleibt. Um fertige Thermometer in dieser Hinsicht zu prüfen, hat *Bessel* folgendes Verfahren angegeben: Man trenne durch Schütteln einen Quecksilberfaden und untersuche, ob er allenthalben zwischen den Theilstrichen der Scala einerlei Unterschiede der Zahlen angibt. Diese Trennung kann man durch Erkältung der Kugel, indem man sie mit Baumwolle umwickelt und Schwefeläther darauf giesst, in verschiedenen Längen bewirken, da der Faden gewöhnlich dicht an der Kugel abreisst.

Quecksilber ist vorzüglicher zu Thermometern, als Weingeist, weil es später siedet, empfindlicher gegen die Wärme ist und seine Ausdehnung zwischen 0 und 100° in gleichem Verhältnisse mit der Wärmezunahme erfolgt; doch sind Weingeistthermometer zur Bestimmung grosser Kältegrade nöthig, weil Quecksilber schon bei − 40° C. gefriert. Man nimmt dazu gefärbten Weingeist von 0,83 bis 0,85 Dichte. Die Färbung wird ihm durch Reiben und Kochen mit Cochenille ertheilt. Da Amyl-Alkohol erst bei 130° siedet, so kann man diesen statt des bei 78° siedenden gewöhnlichen Alkohols anwenden, um Weingeist-Thermometer bis zu 120° gehend zu erhalten. Alle Alkohol-Thermometer müssen wegen der ungleichförmigen Ausdehnung des Weingeistes nach guten Quecksilber-Thermometern regulirt werden. Zu genauen Beobachtungen hat man Thermometer, die nur Unterschiede von 16 bis 20° angeben, nöthig. Das Quecksilbergefäss muss dann viel Quecksilber enthalten, und die Röhren müssen sehr eng sein. Um sie zu theilen, ist ein gutes Normalthermometer von ziemlicher Grösse nöthig.

Folgende Formeln drücken den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Eintheilungen des Thermometers aus. Bezeichnet man nämlich die Anzahl der Réaumur'schen Grade durch R, die entsprechende Zahl der Centesimal-Eintheilung und der Fahrenheit'schen durch C und F, so ist für alle Fälle

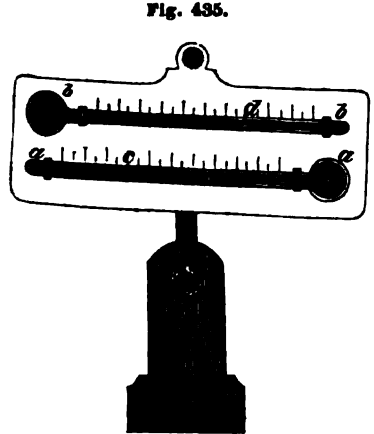
$$R = \frac{4}{9}(F - 32),\ R = \frac{4}{5}C,\ C = \frac{5}{9}(F - 32)$$

wenn man die unter 0 liegenden Grade mit *minus* bezeichnet. Das erste Thermometer soll *Cornelius Drebbel*, ein Holländer, im Jahr 1630 verfertigt haben, wobei er die Ausdehnung der Luft benutzte.

§. 310.

Man hat dem Thermometer auch solche Einrichtungen gegeben, dass es den höchsten oder tiefsten Temperaturgrad, welcher in einem gewissen Zeitraume stattfand, auch zu einer andern Zeit noch angibt. Thermometer dieser Art nennt man *Maximum-* und *Minimum-Thermometer*, auch *Thermometrographen*. Das Thermometrograph von *Rutherford* besteht aus zwei horizontal liegenden Thermometern, aa und bb, Fig. 435. Das Maximum-Thermometer aa enthält Quecksilber und das andere bb Weingeist. In dem ersten befindet sich ein kleiner Cylinder von Eisen oder Fischbein c, welchen das Quecksilber bei zunehmender Wärme vor sich herschiebt und beim Zurückgehen liegen lässt, und dadurch den höchsten Stand des Thermometers angibt. In dem Minimum-Thermometer bb liegt ein solcher Cylinder von Glas d, mit einem kleinen Knöpfchen. Dieser Cylinder ist ganz in den Weingeist eingetaucht. Beim Zurückgehen des Weingeistes geht er auch zurück, weil das kleine Knöpfchen die dünne

Fig. 435.



Haut an der Oberfläche des Weingeistes nicht zu durchbrechen vermag. Beim Vorwärtsgehen des Weingeistes bleibt er aber liegen, und gibt also das Minimum der Temperatur an. Um beide Cylinder wieder in Berührung mit den Oberflächen der Flüssigkeiten zu bringen, neigt man das Instrument so, dass die Quecksilberkugel *a* die tiefste Stelle einnimmt.

Nach längerem Gebrauch oder auch beim Transport des obigen Maximum-Thermometers dringt der Stift zuweilen in das Quecksilber ein, desshalb ist das Max.-Thermometer von *Negretti* und *Zamba* zu empfehlen. An ihm ist die Röhre dicht über der Kugel rechtwinklicht umgebogen. An dieser Stelle befindet sich ein zugleich umgebogener Glasstift, welcher also den Quecksilber-Canal sehr verengt. Ist darum das Rohr horizontal und sinkt das Thermometer in Folge der Kälte, so reisst der Quecksilberfaden an der Biegung, und der im Rohr stehen gebliebene Faden gibt das Maximum an. Bei senkrechtem leichtem Schütteln vereinigt er sich wieder mit dem Quecksilber in der Kugel.

Zur Beobachtung der Lufttemperatur muss das Thermometer so aufgehängt werden, dass es vor der strahlenden Wärme der umgebenden Körper und der direkten Einwirkung der Sonne geschützt ist, denn sonst gibt es eine höhere Temperatur an. Hängt man im Freien zwei Thermometer auf, z. B. an einem Draht, der von einem Baum zu einem andern gespannt und 5 Fuss von der Erde entfernt ist, so zeigen sie am sichersten die Lufttemperatur an, und es steht das in der Sonne befindliche nur um $1/2$ bis $1 1/2$ Grad höher, als das im Schatten hängende.

Fig. 436.



Zur Untersuchung der Temperatur in den Tiefen der Erde, in artesischen Brunnen u. dgl., hat *Magnus* nach *Saussures'* Vorschlag ein *Geothermometer* angewendet, welches oben offen und ganz mit Quecksilber angefüllt ist. Wird es in eine wärmere Flüssigkeit gebracht, so muss durch die Ausdehnung ein Theil des Quecksilbers aus der Röhre getrieben werden, und man kann nachher finden, welches die höchste Temperatur war, indem man das Thermometer in Wasser bringt, und dieses allmälig erwärmt, bis das Quecksilber die Röhre wieder gerade anfüllt. Ein gewöhnliches Thermometer gibt die Temperatur dieses Wassers an. Um die Röhre bequem mit Quecksilber nachzufüllen, ist sie am oberen, offenen Ende in eine feine Spitze ausgezogen. Um die Oeffnung dieser Spitze ist, wie Fig. 436 zeigt, ein kleines Gefäss von Glas geschmolzen, in welchem sich ein wenig Quecksilber befindet, so dass die zur Seite gebogene Spitze, wenn das Instrument horizontal gehalten wird, hineintaucht und doch über das Quecksilber hervorragt, wenn es die vertikale Lage hat. Um dieses Thermometer vor jeder Messung ganz zu füllen, erwärmt man es, bis das Quecksilber aus der Spitze dringt, kehrt es sodann um, damit diese Spitze ganz von Quecksilber umgeben ist, und lässt es so langsam erkalten. Diesem Thermometer ist auch das Maximum-Thermometer von *Walfardin* nachgebildet.

Zu Untersuchungen, bei welchen zur Auffindung eines genauen Resultates eine langsame Wärmemittheilung an das Thermometer oder von ihm an andere Körper nöthig ist, wie z. B. bei der Bestimmung der Temperatur in verschiedenen Tiefen des Meeres, dient das Thermometrograph von *Six*. Es besteht aus einem grossen und längeren Cylinder, der mit Weingeist gefüllt ist. Die daran geschmolzene Thermometerröhre ist weit, und endigt, nachdem sie zweimal um den Cylinder gebogen ist, in eine kleine Kugel, die etwas Weingeist und Luft enthält. Ohngefähr in der Mitte der Röhre ist der Weingeist durch eine Quecksilbersäule unterbrochen, an deren beiden Enden ein kleiner eiserner Cylinder liegt. Beim Vor- oder Rückwärtsgehen der Quecksilbersäule wird der eine oder der andere Cylinder verschoben und bleibt nachher an der Stelle liegen, die er einnahm.

§. 311.

Nach dem in §. 87 angeführten Prinzip von *Martin* müssen zwei *gerade* Stäbchen aus verschiedenen Metallen, welche ihrer Länge nach

auf einander befestigt sind, bei der Erwärmung sich krümmen, weil das eine Metall sich stärker ausdehnt als das andere. Hierauf beruht *Holzmanns Metall-Thermometer*, Fig. 437, welches aus einem bogenförmigen Doppelplättchen fgh aus Platin und Messing oder Eisen und Messing besteht. Das eine Ende ist bei f befestigt, das andere drückt bei h auf das kurze Ende eines Hebels b, und setzt dadurch den am längern Ende befindlichen, gezahnten Rechen dd' in Bewegung. Die Zähne dieses Rechens greifen in die eines Triebes, auf dessen Achse der Zeiger il befestigt ist. Dieser dreht sich also bei zunehmender Wärme nach rechts. Bei abnehmender Temperatur wird er durch eine bei d befestigte Spirale wieder zurückgeführt. Die Theilung wird durch Vergleichung mit einem Quecksilber-Thermometer gefunden. Bei *Breguets* Thermometer, Fig. 438, wird die Drehung des Zeigers durch ein aus Silber-, Gold- und Platina-Streifchen bestehendes, schraubenförmig gewundenes Plättchen hervorgebracht, welches durch Strecken die Dicke von $^1/_{100}$ Linie erhalten hat. Bei Temperatur-Veränderungen krümmen sich die über einander gelegten Metallstreifen, oder sie dehnen sich der Krümmung entgegen, und bewegen so den Zeiger längs der kreisförmigen Scala, deren Theilung durch ein gutes Quecksilber-Thermometer bestimmt wird. Auch diesen sehr empfindlichen Apparat kann man als Thermometrograph benutzen, wenn man auf dem Rande der Scala einen beweglichen Schieber anbringt.

Fig. 437.

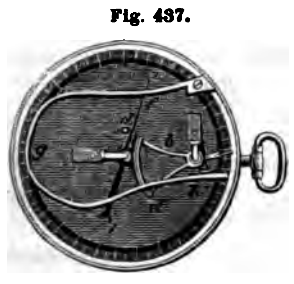


Fig. 438.

§. 312.

Die Luft dehnt sich, wenigstens von 0° bis 350°, vollkommen proportional der Wärmezunahme aus, und ist daher besonders zur thermometrischen Flüssigkeit geeignet. Wenn man an dem Barometer (Fig. 148, Seite 122) die Spitze der Glaskugel zuschmilzt, und wie bei dem gewöhnlichen Thermometer die Scala nach Bestimmung des Eis- und Siedpunktes aufträgt, so erhält man ein *Luft-Thermometer*. Die in der Kugel eingeschlossene Luft hat alsdann den Druck der Quecksilbersäule zu tragen, und wird diese heben, wenn ihre Elastizität vermöge der Wärme zunimmt, und senken, wenn sie abnimmt. Da aber die Ausdehnung des Quecksilbers Einfluss auf das Resultat hat, so gibt man dem Luft-Thermometer auch die Form eines gewöhnlichen Thermometers, indem die in der Kugel und einem Theile der Röhre enthaltene Luft von der äussern durch eine kleine Quecksilbersäule getrennt ist. Dieses Thermometer ist den Veränderungen des Luftdruckes unterworfen, und seine Angaben müssen daher nach dem Barometerstande mit Hilfe des *Mariotte*'schen Gesetzes corrigirt werden. Dazu ist nöthig, dass man seinen Rauminhalt bei einem bestimmten Thermometer- und Barometerstande genau kennt. Desshalb wird die Beschreibung eines genauen

Luft-Thermometers erst später vorkommen. Die Vergleichung zwischen dem Luft-Thermometer und dem Quecksilber-Thermometer zeigt nach *Regnault*, dass den nachstehenden Graden eines Luft-Thermometers, die darunter stehenden Grade eines Quecksilber-Thermometers von Krystallglas und in zweiter Reihe von gemeinem Glas entsprechen, indem sich die verschiedenen Glassorten verschieden ausdehnen.

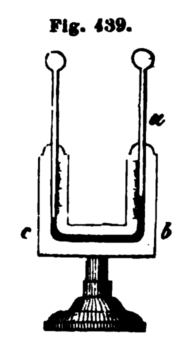
Luft	100	150	200	250	300	350
K. Glas	100	150,4	201,25	253	305,8	360,5
G. Glas	100	149,8	199,7	250,05	301,08	354.

Man sieht daraus, welche Correctur an einem Quecksilber-Thermometer bei höhern Graden der Wärme vorzunehmen ist, wenn man, wie es erlaubt ist, die Ausdehnung der Luft als gleichförmig voraussetzt.

§. 313.

Um kleine Wärmeunterschiede zu beobachten, wie es in der Folge öfters nothwendig sein wird, bedient man sich des *Differential-Thermometers*. Das *Rumford*'sche besteht aus einer Glasröhre, Fig. 439, welche unter rechten Winkeln gebogen, und an beiden Enden zu dünnen Glaskugeln aufgeblasen ist. In der Röhre befindet sich eine kleine Menge mit Karmin gefärbter Schwefelsäure. Wird nun die eine Kugel stärker erwärmt als die andere, so übt die Luft darin einen stärkern Druck auf die gefärbte Flüssigkeit aus, und bewegt sie nach der andern Kugel. Die Scala, welche den Temperatur-Unterschied beider Kugeln in Graden eines gewöhnlichen Thermometers angeben soll, wird neben den Röhren angebracht. An *Leslie's* Differential-Thermometer ist die Säule jener Flüssigkeit länger, und die Scala befindet sich an einem der beiden Schenkel *a b*. Hier wirkt also auch das Gewicht der längern Flüssigkeitssäule. *Ritchie* hat die gläsernen Kugeln durch Metallgefässe mit sehr dünnen Wänden ersetzt, und dadurch ein viel empfindlicheres Instrument zu Stande gebracht. Um Wärmeveränderungen der schwächsten Art zu beobachten, ohne sie messen zu müssen, kann man nach *Schmidt* und *Howard* statt der Schwefelsäure auch *Alkohol* oder *Aether* in eine der beiden Kugeln bringen; es erfolgt alsdann nicht nur eine Ausdehnung der Dünste dieser Flüssigkeiten, sondern es bilden sich bei zunehmender Wärme auch neue Dünste, welche die Empfindlichkeit vermehren.

Fig. 439.



Ein zu feinen Beobachtungen weit vorzüglicheres Instrument ist das *Thermoscop* von *Nobili*, nach der Verbesserung von *Melloni*, dessen nähere Beschreibung aber erst unter dem Artikel *Thermoëlektrizität* vorkommen wird.

§. 314.

Zur Messung höherer Wärmegrade bedient man sich der *Pyrometer*.

Das *Luftpyrometer* besteht aus einem sphäroïdischen, hohlen Körper von Platina, der mit einer feinen Röhre versehen ist, aus welcher die Luft bei der Erhitzung entweicht. Nach der Erkaltung zieht sich die zurückgebliebene Luft wieder zusammen, und man kann alsdann

aus der verschwundenen Luftmenge die Temperatur berechnen, welche das Pyrometer angenommen hatte. Die beste Einrichtung haben diesem Instrumente *A. Erman* und *Herter* gegeben. Bei rohen Versuohen genügt es, die erhitzte Platinkugel in Wasser zu werfen, und aus der Gewichtszunahme derselben die Menge des eingedrungenen Wassers, und daraus die der verschwundenen Luft zu berechnen.

Das Pyrometer von *Daniell* gründet sich darauf, dass Reissblei (eine Mischung von reinem Graphit und Thon) in der Wärme weniger ausdehnbar ist als Platina. Indem also ein Cylinder von Reissblei zum Theil ausgebohrt wird, und eine Platinstange mit ihrem untern Ende auf dem Boden desselben ruht, während sie das obere Ende nicht ganz erreicht, wird letztere in der Hitze sich schneller verlängern, als der Reissbleicylinder. Schiebt sie nun dadurch einen gegen die innere Wand des hohlen Cylinders geklemmten Porcellancylinder empor, so hebt sich dieser um so mehr aus dem hohlen Cylinder hervor, je stärker die Platina sich ausgedehnt hatte. Wegen des Druckes, welchen der Porcellancylinder gegen die Wand des Reissbleicylinders erleidet, kann der erstere bei eintretender Erkaltung nicht wieder zurücktreten, und man findet daher, um wie viel er gehoben worden ist. Dieses Pyrometer lässt inzwischen bei der ungleichen Beschaffenheit des Reissbleis und der Veränderung, welcher die Platina unterworfen ist, noch viel zu wünschen übrig.

Das Pyrometer von *Wedgwood* beruht auf der Eigenschaft des Thons, in der Wärme bis zur Rothglühhitze Wasser abzugeben, bei höherer Temperatur zusammenzufritten, und sich desshalb um so stärker zusammenzuziehen, je mehr er erhitzt wird. *Wedgwood* verfertigte aus dem Thone von Cornwallis, der mit etwas reiner Thonerde vermischt wird, cylindrische Körper von bestimmtem Durchmesser, und brachte sie aus dem Orte, dessen Temperatur sie angeben sollen, zwischen zwei unter einem sehr spitzen Winkel geneigte Lineale. Je tiefer sie zwischen diesen hinabsanken, desto höher war die Temperatur. Schon gebrauchte Stücke kann man nur bei höheren Temperaturen benutzen. Die Zuverlässigkeit dieses Pyrometers ist nicht gross, noch weniger die des *magnetischen Pyrometers* von *Pouillet*. Dieses gründet sich auf das Entstehen eines thermoëlektrischen Stromes, wenn Platina und Gold an der Verbindungsstelle erhitzt werden, indem die Intensität dieses Stromes nach einem gewissen Gesetze von der Temperatur abhängt, welcher jene Stelle ausgesetzt ist. Nach *Prinsep's* Vorschlag benutzt man auch die Schmelzpunkte verschiedener Metalle zur Bestimmung der Hitzgrade. Angenommen, zwischen dem Schmelzpunkt von Gold und Platina lägen z. B. 100°. Setzt man nun dem Golde 1, 2, 3 ... Procent Platina zu, so erhält man nach ihm Legirungen, welche um 1, 2, 3 ... Grade schwerer schmelzen als reines Gold. Der Schmelzpunkt der Platina ist aber noch nicht genau ermittelt.

Die verbesserte Einrichtung des Pyrometers von *A. Erman* und *Herter* ist folgende: Die Kupfer- oder Platinkugel läuft in ein vier Zoll langes Rohr mit sehr enger Oeffnung aus. Das Ende desselben ist konisch geschliffen. Auf dasselbe passt luftdicht die konisch an dem einen Ende ausgebohrte Achse eines kupfernen Cylinders, welcher am andern Ende einen Hahn trägt. Dieses Pyrometer wird beim Gebrauch horizontal in den Ofen oder in einen mit Magnesiapulver gefüllten eisernen Kasten so gelegt, dass die Spitze der Röhre um 1 bis 2 Centim. hervorragt.

Sobald die Erhitzung sich vollständig der Kugel mitgetheilt hat, wird der Kupfercylinder fest über die Spitze geschoben, der Hahn geschlossen und die Kugel herausgenommen. Sobald sie erkaltet ist, bringt man sie unter Wasser und öffnet den Hahn. Aus der Gewichtszunahme ergibt sich dann die Menge der durch die Erhitzung ausgetriebenen Luft, wie später bei der Ausdehnung der Gase gezeigt werden wird.

B. Von der Verbreitung der Wärme durch Strahlung.

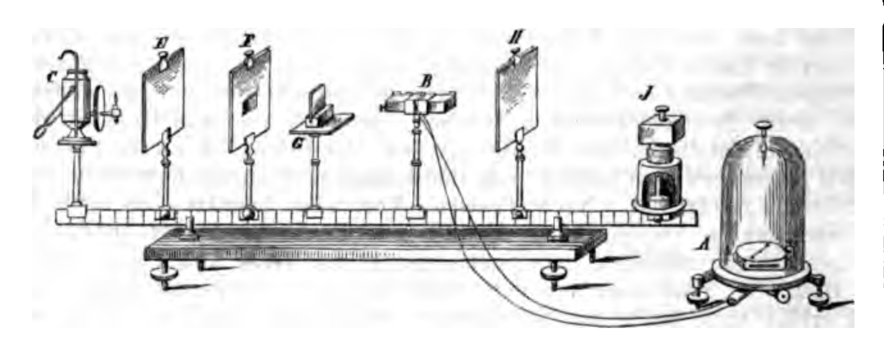
§. 315.

Die strahlende Wärme verhält sich fast in allen Beziehungen vollkommen wie das Licht; die hieher gehörigen Erscheinungen bedürfen daher keiner neuen Bezeichnung.

Die geradlinigte Fortpflanzung und die grosse Geschwindigkeit der strahlenden Wärme folgt daraus, dass, wenn man ein erhitztes Metall in einiger Entfernung von einem Differential-Thermometer aufstellt, und einen Schirm so zwischen ihnen befestigt, dass sich die Wärmequelle, ein kleines gedecktes Loch in dem Schirm, und die eine Kugel des Differential-Thermometers in gerader Linie befinden, die Flüssigkeit des Thermometers augenblicklich von dieser Kugel nach der andern, vor der strahlenden Wärme geschützten Kugel bewegt wird, wenn man jenes Loch geöffnet hat.

Man kann auch die strahlende Wärme auf die entblösste Seite einer thermoëlektrischen Säule leiten, die mit einem Galvanometer in Verbindung steht. Hierauf beruht der *Melloni*'sche Apparat, Fig. 440. Er setzt die Kenntniss der Thermoëlektrizität voraus, welche erst später vorkommt. Seine Wirkung kann aber dennoch verstanden werden, wenn man weiss, dass die Ablenkungen der Magnetnadel des Galvanometers *A* bis zu ohngefähr 20° dem Unterschiede der Temperaturen an den


Fig. 440.



entgegengesetzten Enden der Thermosäule *B* nahezu proportional sind. Die Thermosäule steht mit dem Galvanometer durch zwei Drähte in Verbindung, welche den galvanischen Strom leiten, der durch die Erwärmung eines ihrer Enden erregt wird. Sie ruht auf einem getheilten Meterstab, und kann hoch oder nieder gestellt und beliebig darauf verschoben werden. *C* ist eine Lampe, die auf einem Tischchen ruht, auf welches auch noch andere Wärmequellen befestigt werden können. *E*

st ein Schirm von zwei Metallblechen mit einer dazwischen befindlichen Luftschichte, um nach Belieben die Wärmestrahlen von *B* abzuhalten. *F* ein Schirm mit einem quadratischen Loche, um einen Strahlenbüschel von bestimmtem Durchmesser durchzulassen. *G* ein Tischchen, um verschiedene Körper von Glas, Krystall u. s. w. darauf zu stellen, und die Wärme durch sie auf *B* zu leiten. Das Ganze ruht auf einem hölzernen Fuss, um horizontal gestellt werden zu können. *H* ist ein zweiter Schirm wie *E*, um von der andern Seite alle Wärmestrahlen von der Thermosäule abzuhalten. Bei der Beobachtung der Ablenkungen muss man die *impulsive* Abweichung oder die Abweichung der Magnetnadel vermöge des ersten Stosses von der *definitiven* Abweichung unterscheiden. Letztere tritt erst nach mehreren Schwingungen ein, und ist allein als Maass zu gebrauchen. Setzt man die Säule nach einander an beiden Enden den Einwirkungen constanter Wärmequellen in bestimmten Entfernungen aus, und bewirkt z. B. die erste eine definitive Abweichung von 40° rechts und die andere eine Abweichung von 35° links, geben aber beide zusammenwirkend eine Abweichung von 15° rechts, so entsprechen also 15° rechts von 0° an gerechnet, einer Differenz von 5° zwischen 35° und 40°. Durch eine Reihe solcher Versuche lernt man den Gang des *Galvanometers* für mehrere Grade kennen, und kann sich darnach eine Tafel entwerfen. In dieser werden also 15° Abweichung von 0° an, derselben Temperatur-Differenz an beiden Enden entsprechen, wie 5° zwischen 35° und 40°. Wenn die Säule gegen einen kalten Körper mehr Wärme ausstrahlt als sie von ihm empfängt, so weicht die Magnetnadel nach der entgegengesetzten Richtung aus.

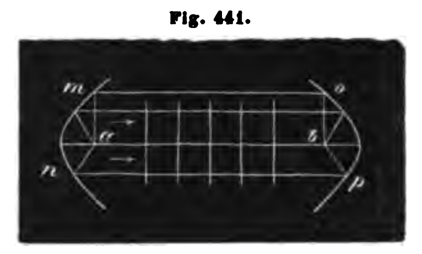
Mit Hilfe des Differential-Thermometers, noch besser aber mit Hilfe des *Melloni*'schen Apparates, kann man, wie *Ritchie* und *Melloni* zeigten, leicht nachweisen, dass die *Intensität der Wärmestrahlen im Verhältniss des Quadrats der Entfernung von der Wärmequelle abnimmt,* wie die Intensität der Lichtstrahlen. Von schief ausfahrenden Wärmestrahlen scheint hinsichtlich ihrer Intensität dasselbe zu gelten, was in §. 215 von den Lichtstrahlen gesagt wurde. Ueber die Geschwindigkeit der strahlenden Wärme hat *Wrede* Untersuchungen angestellt, die sich darauf gründen, dass die Aberration der Wärme und der Lichtstrahlen der Sonne verschieden sein muss, wenn sie nicht gleiche Geschwindigkeit haben. Indem er nun das Licht- und Wärmebild in einem Fernrohr untersuchte, fand er die Temperatur am Ostrande des Sonnenbildes in der That höher als am Westrande, und schloss daraus, dass die Geschwindigkeit der Wärme ohngefähr $^4/_5$ von der des Lichtes sei.

Als eine Wirkung der strahlenden Wärme des Ofens muss man das Aufthauen der gefrornen Fensterscheiben im Winter ansehen, welches schon beginnt, während die Luft im Zimmer noch kalt ist. Bringt man zwischen den Ofen und eine Fensterscheibe einen Schirm von beliebiger Form, so thaut das Eis da nicht auf, wo sein Schatten hinfallen würde, wenn der Ofen ein leuchtender Körper wäre.

§. 316.

Die auf einen Körper fallenden Wärmestrahlen werden wie die Lichtstrahlen zum Theil zurückgeworfen, zum Theil durchgelassen, zum Theil absorbirt. Man kann daher nach *Pictet* die in dem Brennpunkt *a* eines Hohlspiegels *mn*, Fig. 441, von einem erhitzten dunkeln Körper

Fig. 441.



ausfahrenden Wärmestrahlen durch einen andern Hohlspiegel *op* auffangen, und in seinem Brennpunkte *b* concentriren. Ein leicht entzündlicher Körper, oder ein Thermometer, geben alsdann die stattfindende Temperatur-Erhöhung, der erstere durch Entzündung, das letztere durch sein Steigen an. Bringt man in den einen Brennpunkt ein Stück Eis und in den andern ein Differential-Thermometer, so sinkt das letztere, weil die von dem Thermometer ausstrahlende Wärme nicht wieder ersetzt wird, indem beide Hohlspiegel zwar Wärme ausstrahlen, diese aber an das Eis in dem Brennpunkte des einen von beiden abgeben. Etwas Aehnliches findet auch beim Lichte statt, wenn man in den einen Brennpunkt eine schwarze Kugel und in den andern ein weisses Blatt Papier hält. Auf dem letztern zeigt sich alsdann auf der Stelle des Brennpunktes ein dunkler Fleck. *Melloni* hat mit Hilfe seines Apparates, Fig. 440, gefunden, dass Wasser und andere Flüssigkeiten, so wie Glas, Fayence, Marmor und dergleichen nur wenig Wärmestrahlen nach dem Thermoscop zurückwerfen, während die Metalle sehr gute Reflectoren für die Wärme, wie für das Licht sind. Quecksilber wirft am meisten Wärme zurück, sodann Messing, Silber und Blei. Doch nimmt die Menge der von den *Metallen* reflectirten Wärme nach den Versuchen von *Provostaye* und *Desains* mit der Zunahme des Winkels ab, welchen der einfallende Strahl mit dem Neigungsloth bildet, und ist bei der senkrecht auffallenden Wärme am grössten, während diess bei den andern Körpern, z. B. dem Glas, gerade umgekehrt ist. Sie haben ferner nachgewiesen, dass die Formeln, welche das Verhältniss zwischen dem reflectirten und eindringenden Licht ausdrücken, beim Versuch auch für die Wärme bestätigt werden.

Man kann durch einen konischen Reflector, welcher die Gestalt eines Sprachrohrs hat, und von polirtem Kupfer ist, die Wirkung der strahlenden Wärme eines Körpers sehr vergrössern. Auch die scheinbare Kältestrahlung kann man dadurch verstärken. Auf der Reflexion der Wärmestrahlen, welche dem Sonnenlichte beigemengt sind, beruht die Anwendung der Hohlspiegel zur Hervorbringung einer Hitze, in welcher fast alle Körper schmelzen oder verflüchtigt werden. Bemerkenswerth ist es, dass sehr feine Körper, z. B. Spinnenfaden und feine Faden von Schellack, in der intensivsten Hitze des Hohlspiegels unversehrt bleiben. Der Grund dieser Erscheinung liegt wahrscheinlich darin, dass, weil ihre Oberfläche im Verhältniss zu ihrer Masse sehr gross ist, sie durch die aufsteigende kalte Luft eben so schnell wieder die Wärme verlieren, als sie ihnen mitgetheilt wird.

Rauhe Körper bewirken eine Zerstreuung (Diffusion) der Wärmestrahlen. Diese ist, wie später gezeigt werden wird, verschieden für Wärme von verschiedenen Quellen, welches bei der regelmässigen Reflexion nicht der Fall ist.

§. 317.

Nach *Leslie* hängt die Menge der Wärme, die ein Körper ausstrahlt, oder sein *Emissions-Vermögen*, nicht nur von seiner Temperatur, sondern auch von seiner Oberfläche ab. Metallische Oberflächen strahlen weniger Wärme aus, als andere, und rauhe Oberflächen mehr, als glatte. Der Einfluss der Oberflächen lässt sich leicht durch Versuche nachweisen, indem man einen Würfel, Fig. 440, Seite 390, von Eisenblech *J*, welcher auf einer Seite polirt, auf der andern mit Glas bedeckt, auf der dritten matt geschliffen und auf der vierten berusst ist, der Thermosäule in *Melloni's* Apparat oder einem Hohlspiegel gegenüberstellt, und das darin befindliche Wasser durch eine untergestellte Weingeistlampe bis zu einem gewissen Grade erhitzt. Das Galvanometer zeigt eine Zunahme der Temperatur und ein in den Brennpunkt des Hohlspiegels gebrachtes Thermometer steigt immer höher, wenn man die vier Seiten des Würfels in der obigen Ordnung gegen ihn richtet. *Melloni* untersuchte das Emissionsvermögen der Körper zwischen 0° und 100° C., und versah die Thermosäule, um sie für die Wärme empfindlicher zu machen, mit einem kegelförmigen Reflektor, und wandte dessen Mündung gegen die Wärmequelle. Drückt man nach seinen Versuchen das Emissions-Vermögen von Kienruss durch 100 aus, so ist das von Wasser 100, von Bleiweiss 100, Schreibpapier 98, Glas 90, Gummilak 72, Quecksilber 20, polirtes Eisen 15, Zinn, Kupfer, Gold 12, Silber, gewalzt, 3, chemisch auf Kupfer niedergeschlagen 5,37. Diese Verhältnisse des Strahlungs-Vermögens sind jedoch nicht bei allen Temperaturen gleich. Auf dieselbe Art kann man sich von dem stärkern Strahlungsvermögen einer rauhen Oberfläche überzeugen. Ueberhaupt strahlen fein vertheilte Körper die Wärme leichter aus, als dichte, und es hängt vielleicht das Emissions-Vermögen hauptsächlich von der Cohäsion ab. Bei Metallen, deren Oberfläche geritzt ist, rührt die stärkere Wärmestrahlung jedoch von einer Veränderung ihrer Dichte her, indem sie an der Oberfläche dichter sind und durch das Ritzen weniger dichte Stellen zum Vorschein kommen. Das Emissions-Vermögen aber steht im umgekehrten Verhältniss mit der Dichte. Nach den Versuchen von *Leslie* ist auch die Ausstrahlung der Wärme von der berussten Oberfläche eines Körpers nach allen Richtungen gleich gross, wie beim Lichte. Bei glatten Körpern, wie z. B. dem Glas, ist diess nicht der Fall.

Ueberzieht man einen blanken metallischen Körper mit einer dünnen Firniss-Schichte, so nimmt nach *Melloni* das Ausstrahlungsvermögen zu. Ebenso wächst es noch bei weniger als 15 Schichten. Dann nimmt es aber wieder ab. So lange nämlich die Dicke der Schichten zusammengenommen so klein ist, dass die Fortpflanzung der Wärme beinahe augenblicklich erfolgt, halten sie dieselbe nicht auf, können aber, wenn die Materie, aus der sie bestehen, ein grösseres Strahlungs-Vermögen besitzt, zur schnellern Ausstrahlung beitragen. Wenn diese Schichten aber dicker werden, so halten sie in ihrem Innern die Fortpflanzung der Wärme auf.

§. 318.

Im leeren Raume erkaltet ein Körper bloss durch Strahlung. Ist er aber von irgend einem Medium umgeben, so theilt er auch diesem Wärme mit. *Newton* hatte aus seinen Versuchen geschlossen, die Erkaltungsgeschwindigkeit im luftleeren Raum sei dem Temperaturüberschuss proportional. *Dulong* und *Petit* haben aber genauere Versuche darüber angestellt. Ein kupferner Ballon, der innen geschwärzt war, wurde in ein Gefäss mit Wasser gesenkt, dessen Temperatur durch fortwährende Bewegung und durch Zugiessen constant erhalten wurde. In den Ballon wurden grosse Thermometerkugeln gebracht, die auf 100 bis 300 Grad erwärmt waren. Hierauf wurde die Luft rasch ausgepumpt und die Feuchtigkeit dadurch entfernt, dass die Luft durch ein Rohr mit Chlorcalcium strich. Das Sinken des Thermometers wurde nun in gleichen Zeitabständen beobachtet, und es ergab sich, dass, während die Temperatur der den Ballon umgebenden Wassermasse gleich 0°, 20°, 40°, 60°, 80° war, das Thermometer in einer Minute, wenn es um 200° wärmer, als die Hülle war, z. B. um 7,40, 8,58, 10,01, 11,64, 13,45° erkaltete, während es, im Fall seine Temperatur die der Umgebung um 100° überstieg, in einer Minute nur um 2,30, 2,74, 3,16, 3,68, 4,29° erkaltete. Die Erkaltungsgeschwindigkeit ist also nicht dem Temperaturüberschuss proportional, sondern sie erfolgt bei höhern Temperaturen viel schneller. Bei Kugeln von verschiedenen Durchmessern fanden sie die Erkaltungsgeschwindigkeit um so grösser, je kleiner der Durchmesser war. In der neuern Zeit haben *Desains* und *de la Provostaye* durch ähnliche Versuche gefunden, dass solche Thermometer, wenn sie mit Luft von geringer Dichte umgeben sind, in einer grossen Umhüllung langsamer erkalten, als bei höherem Druck; in einer kleinen Umhüllung unter sonst gleichen Umständen aber schneller. Mischt man zwei Gase, z. B. Wasserstoffgas und Luft, so geht bei gleichem Druck und gleichem Volumen die Erkaltung langsamer vor sich, als in einem dieser Gase. Das gewöhnliche Erkalten ist die vereinigte Wirkung des Ausstrahlens der Wärme und der Mittheilung der Wärme an Luft von mittlerer Dichte. Da hiebei die erwärmte Luft aufsteigt und kältere an ihre Stelle tritt, so ist die Erscheinung sehr zusammengesetzter Art.

Wenn Körper wenig Wärme ausstrahlen sollen, so muss man sie mit einer polirten metallischen Oberfläche versehen, und im entgegengesetzten Falle ihre Oberfläche uneben machen. Darauf beruht der Nutzen der Zierrathen an den Oefen, das frühere Kochen des Wassers in berussten Töpfen, die schnelle Abkühlung des mit Pflanzen bedeckten Bodens, die langsamere Wärme-Ausstrahlung der Pflastersteine in der Nacht; ferner die Wirkung des *Pyroscopes*, welches ein Differential-Thermometer ist, an dem man eine Kugel versilbert hat.

Für technische Zwecke ist es oft wichtig, die Zahl der Wärme-Einheiten zu kennen, welche ein Quadratmeter eines auf beständiger Temperatur gehaltenen Körpers in einer Stunde ausstrahlt. *Peclet* hat gefunden, dass sie ausgedrückt wird durch

$$Q = g\,(0{,}9556 + 0{,}0037\,t)\,\tau\,(1 + 0{,}0056\,\tau).$$

Wo τ der Ueberschuss der Ofentemperatur über die Temperatur t der umgebenden Luft und g ein von der Natur des erwärmten Körpers abhängiger Coëfficient ist, der durch folgende Zahlen ausgedrückt wird:

bei Kupfer . .	0,16	Eisenguss . . .	3,17	Holz	3,60
Messing . .	0,24	Eisenblech . .	3,36	Sand	3,62
Glas . . .	2,91	Baustein . . .	3,60	Wasser	5,31

Die Lufttemperatur war bei seinen Versuchen 12°.

§. 319.

Alle Körper strahlen beständig Wärme aus und *absorbiren* die von andern ausgestrahlte Wärme.

Leslie hat durch Versuche gezeigt, dass das Wärmestrahlungs-Vermögen der Körper ihrem Absorptions-Vermögen gleich sei; befindet sich darum ein Körper in einer Hülle, deren Temperatur der seinigen gleich ist, so ändert sich seine Temperatur nicht. Diess folgt schon aus dem *Prinzip des beweglichen Gleichgewichts* von *P. Prevost.*

Provostaye und *Desains* haben dieses Princip durch Versuche mit dunkeln Wärmestrahlen, die näherungsweise gleichartig waren, bestätigt gefunden. Die inzwischen von *Kirchhoff* gefundenen und in den §. 225 und 226 mitgetheilten Gesetze der Licht-Absorption und Emission gelten auch für die strahlende Wärme. *Es ist also bei derselben Temperatur das Verhältniss zwischen dem Emissions- und Absorptions-Vermögen aller Körper für gleichartige Wärmestrahlen dasselbe*, und es wird also das Emissions-Vermögen um so grösser, je grösser das Absorptions-Vermögen ist. So absorbirt z. B. Steinsalz sehr wenig Wärme und strahlt auch sehr wenig aus, während Glas viel absorbirt und emittirt. Von der Wärme, die Steinsalz ausstrahlt, geht sehr wenig durch eine Steinsalzplatte; ganz analog mit den oben erwähnten Licht-Absorptionsgesetzen. Leicht zu zeigen sind folgende Versuche von *Melloni:* Er stellte vor der Mündung des Reflectors, den er, wie im §. 316, an der thermoëlektrischen Säule anbrachte, kreisrunde Scheiben von dünnem Metallblech, deren Durchmesser jedoch etwas grösser war, mit Hilfe elfenbeinerner Halter auf. Jede Scheibe war auf der, der Säule zugewandten Seite mit Kienruss geschwärzt, um die auf der andern Seite absorbirte Wärme gegen die Säule auszustrahlen. Die andere Seite ist mit denjenigen Substanzen überzogen, deren Absorptionskraft man bestimmen will. Dadurch fand *Melloni* das obige Gesetz bestätigt.

Da sich das Emissions-Vermögen der Körper besonders bei höhern Temperaturen verändert, so kann ein Körper, welcher bei niedriger Temperatur das kleinere Emissions-Vermögen hat, dennoch bei höherer schneller erkalten, als ein anderer, welcher bei niederer Temperatur das grössere Emissions-Vermögen besitzt. Auch hier hängt Vieles von der Beschaffenheit der Oberfläche des absorbirenden Körpers ab.

Aus dem obigen Gesetz erklären sich alle Erscheinungen über den Wärme-Austausch durch Strahlung; nur muss man dabei annehmen, dass alle Körper, selbst bei den niedrigsten Temperaturen, Wärmestrahlen abgeben. Da ein Thermometer, welches zur Nachtzeit in dem Brennpunkte eines gegen den heitern Himmel gerichteten Hohlspiegels steht, unter die Temperatur der umgebenden Luft sinkt, so folgt daraus, dass es mehr Wärme ausstrahlt, als die strahlende Wärme der Atmosphäre und des Himmels ersetzen kann, und dass also in heitern Nächten die Erde mehr Wärme abgibt als sie erhält. Dieser Versuch rührt von *Wells* her und könnte benutzt werden, um die Klarheit des Himmels zu messen. *Delaroche* zeigte, dass Wolken die Wärme aufhalten, wie Glasplatten, wenn sie nicht von sehr warmen Körpern herrührt. Metalle absorbiren weniger Wärme, wenn sie durch Hämmern gehärtet sind, und man muss also, um gute Reflectoren für Wärme zu erhal-

ten, nicht nur ihre Oberflächen gut poliren, sondern sie auch gut härten.

Hierher gehört auch das Entstehen von *Thau* und *Reif*. Wenn nämlich die Körper bei heiterem Himmel durch Ausstrahlung sich unter die Temperatur der umgebenden Luft abgekühlt haben, so schlägt sich an ihrer Oberfläche der Wasserdunst als Thau nieder, und ist die Abkühlung gross genug, so gefriert derselbe und bildet den Reif. Metalle, welche ein geringeres Strahlungsvermögen besitzen, müssen daher auch minder leicht bethaut werden; wohl aber Glas, welches ein viel stärkeres Wärmestrahlungsvermögen besitzt. Der Thau setzt sich nur in *heitern* und *windstillen* Nächten in beträchtlicher Menge ab; denn in solchen wird die Wärmestrahlung nicht wieder ersetzt, während der Wind wärmere Luftschichten gegen die Körper führt. In windstillen und wolkenlosen Nächten ist auch die Temperatur am Boden, nach *Pictet*, geringer, als in einer Höhe von 50 Fuss, während beide bei bedecktem Himmel gleiche Temperatur zeigen.

Melloni hat die Ausstrahlung in dem rings um den Zenith bis zu 35° Abstand liegenden Raum am grössten gefunden. Wenn die Luft über Gräsern und dergleichen Körpern, welche die Wärme leicht ausstrahlen, abgekühlt ist, so sinkt sie von den Spitzen herab, erkältet sich da, wo die Gräser dichter stehen, noch mehr, weil hier noch mehr Wärme ausgestrahlt wurde, und setzt ihre Feuchtigkeit an die Gräser ab. Am Boden aber erwärmt sie sich wieder, weil die untern Theile geschützt sind, nimmt Bodenfeuchtigkeit mit und setzt auch diese ab. Durch dieses Hin- und Hergehen wird die Thaubildung am meisten befördert.

Weisse Kleider absorbiren und emittiren weniger Wärme als schwarze, sind darum in dieser Hinsicht zweckmässiger. Metallgefässe, welche zum Kochen dienen, sollten da, wo sie Wärme absorbiren, rauh und schwarz, an allen andern hell und polirt sein. Um den Schnee schneller schmelzen zu machen, wirft man Erde darauf.

§. 320.

Die Wärme, die auf einen Körper fällt, wird theils absorbirt, theils regelmässig reflectirt und theils zerstreut. Da nun z. B. der Kienruss fast alle Wärmestrahlen absorbirt, so wirft eine mit Kienruss überzogene Fläche eben so wenig Wärme als Licht zurück. Auch lässt Steinsalz, welches berusst ist, alle Wärmestrahlen und keine Lichtstrahlen durch. Es gibt auch Körper, welche die Wärmestrahlen eben so gut durchlassen, als andere das Licht. *Melloni*, dem man die wichtigsten Entdeckungen über die strahlende Wärme verdankt, nennt sie *diatherman*, und diejenigen, welche keine Wärme durchlassen, *atherman* oder *adiatherman*. Die Eigenschaft der Körper, Wärme überhaupt durchzulassen, nennt er *Diathermanität*. Um zu zeigen, dass die Wärmestrahlung eines diathermanen Körpers nicht von seiner eigenen Erwärmung herrühre, darf man nur die Wirkung der durch eine klare Glasplatte gegangenen Wärmestrahlen auf ein Thermometer, oder eine Thermosäule mit der Wirkung derselben Glasplatte vergleichen, nachdem sie mit Tusche geschwärzt ist. Man wird immer finden, dass sie im letzten Falle verschwindend klein ist. Die Durchsichtigkeit der Körper steht in keiner nähern Beziehung zu ihrem Vermögen, diatherman zu sein; denn ein Körper kann fast undurchsichtig sein, und dennoch den Wärmestrahlen einen leichten Durchgang gestatten, und er kann sehr durchsichtig sein, und doch einen grossen Theil der Wärmestrahlen aufhalten. Dünne Plättchen von Alaun sind z. B. durchsichtig, und für die von einer Lampe kommenden Wärmestrahlen beinahe adiatherman, während dicker Rauchtopas und schwarzes Glas fast undurchsichtig sind, und sich diatherman verhalten, wie man mit Hilfe des *Melloni*'schen Apparates leicht zeigen kann. Die Metalle sind im Allgemeinen adiatherman;

n sehr dünnen Plättchen lassen sie jedoch, nach *Knoblauch*, Wärme- strahlen durch. Wenn diese z. B. durch ein Goldplättchen gegangen ind, so zeigen sie andere Eigenschaften als vorher.

Nach den Versuchen von *Magnus* ist von allen Gasen die atmo- phärische Luft am diathermansten. Am wenigsten diatherman ist das Ammoniakgas, etwas mehr das ölbildende Gas. Auch das Wasserstoff- gas lässt die Wärmestrahlen weniger leicht durch als die Luft, obgleich s sie besser leitet. Je mehr Wärmestrahlen ein Gas durchlässt, desto weniger absorbirt es. Nach den Versuchen von *Tyndall* hätten Luft und Wasserstoffgas nahezu das gleiche, ölbildendes und Ammoniakgas das grösste Absorptions-Vermögen. Diess stimmt mit dem Obigen über- ein; dass aber die Absorption des durchsichtigen Wasserdampfs für Wärmestrahlen vierzigmal grösser sein soll als die der Luft, hat sich noch nicht durch die Versuche Anderer bestätigt. Auch Wohlgerüche, Ozon und alle Dämpfe sollen nach *Tyndall* einen grossen Theil der strahlen- den Wärme absorbiren.

§. 321.

Unter den durchsichtigen Körpern finden sich viele, welche nur gewisse Lichtarten durchlassen, und daher farbig erscheinen. Etwas Aehnliches findet auch bei den diathermanen Körpern statt, indem manche von ihnen die Wärmestrahlen des einen Körpers durchlassen, und die eines andern nicht. *Melloni* hat in dieser Beziehung das Ver- halten der Körper gegen vier verschiedene Wärmequellen untersucht; gegen eine Oelflamme, glühendes Platin, geschwärztes Kupfer von 390°, und siedendes Wasser in einem geschwärzten kupfernen Gefässe, und gefunden, dass z. B. von 100 Wärmestrahlen dieser vier Quellen, durch eine ½ Millimeter dicke Glasplatte, der Ordnung nach nur 54, 37, 12, 1 gingen, während die Anzahl derselben bei einer 2 Millimeter dicken Platte 41, 25, 7, 0 betrug. Bei folgenden Platten, welche alle 2,6 Mil- limeter Dicke hatten, bestand z. B. die Menge der durchgelassenen Strahlen, nach derselben Ordnung, in folgenden Zahlen:

	Oelflamme.	Platin.	Kupfer.	Wasser.
Steinsalz, klar	92	92	92	92.
Steinsalz, durchsichtig	65	65	65	65.
Kalkspath, klar	39	28	6	0.
Spiegelglas	39	24	6	0.
Bergkrystall	38	28	6	0.
Gyps	14	5	5	0.
Alaun	9	2	0	0.

Man sieht daraus, dass sich das Steinsalz zur strahlenden Wärme verhält, wie vollkommen durchsichtiges Glas zum Lichte, und dass die übrigen durchsichtigen Körper sich zur Wärme verhalten, wie farbige Mittel zum Lichte. Auch ist das Steinsalz gleich diatherman bei sehr verschiedener Dicke. Desshalb unterscheidet *Melloni* universell-diather- mane und partiell-diathermane Körper, und nennt, im Gegensatz zur *Farbe* des durch farbige Mittel gegangenen Lichtes, diese Verschieden- heit der Wärmestrahlen *Diathermansie* oder *Wärmefarbe*, auch *Thermo- chrose*. Wärmestrahlen, welche nur von gewissen Körpern durchgelassen werden, nennt er *thermanisirt* oder *thermochroïsch*, und die Wärmequelle *thermanisirend*. Die Diathermansie ist also ein Hinderniss der Diather-

manität mancher Körper, so wie die rothe Farbe eines Glases die vollkommene Durchsichtigkeit desselben unmöglich macht. Die Diathermansie ist von den Körpern, wo sie existirt, ganz untrennbar, und nur das Steinsalz ist frei davon. Aber dieses ist auch in seinen übrigen Eigenschaften von andern diathermanen Körpern sehr verschieden.

Natürlich können *verschiedene Wärmestrahlen dieselbe Temperatur* hervorbringen, weil diese wahrscheinlich von der lebendigen Kraft der schwingenden Aethertheilchen abhängt; aber das Verhältniss der durchgehenden Wärmestrahlen wird nicht durch die Temperatur allein, sondern hauptsächlich durch die Natur der Wärmequelle bestimmt. Strahlt ein Körper vermöge seiner Temperatur eine gewisse Wärmefarbe aus, so absorbirt er nach §. 225 den gleichartigen Wärmestrahl, der von einem andern Körper von gleicher Temperatur kommt. Bei Wärmequellen von höherer Temperatur ist jedoch die Manchfaltigkeit der Wärmestrahlen grösser, als bei solchen von niederer Temperatur, und es scheinen alle Körper, wenn sie durch Leitung nur bis auf 100° erhitzt sind, eine gleichartige Wärme auszustrahlen.

Auch die Gase sind für Wärmestrahlen verschiedenen Ursprungs nach *Magnus* mehr oder weniger diatherman. Die grösste Verschiedenheit in der Diathermanität der verschiedenen Gase zeigt sich bei den von kochendem Wasser herrührenden Strahlen.

§. 322.

Aus dem vorigen §. folgt, dass unter den Wärmestrahlen ein ähnlicher Unterschied stattfindet, wie unter den Lichtstrahlen von verschiedener Farbe. Dieser Unterschied zeigt sich consequenter Weise auch noch in folgenden Fällen: wenn man einen und denselben Körper den Wärmestrahlen verschiedener Quellen aussetzt, so wird er nach den Versuchen von *Melloni* und *Baden-Powell* ungleich erwärmt, wenn sie schon auf das Thermoscop gleiche Wirkung haben. Ueberzieht man die auf einer Seite berussten Metallbleche (§. 319) auf der andern Seite mit Kienruss, Bleiweiss, Hausenblase, Tusche, und wendet man die erste dem Thermoscop, die zweite Seite aber der Wärmequelle zu, so wird die Platte verschieden erwärmt werden, wenn die Absorption für die verschiedenen Wärmequellen eine verschiedene ist. *Melloni* fand nun, dass, wenn man das Absorptions-Vermögen des Kienrusses für die verschiedenen Wärmequellen: Glühendes Platin, Kupfer von 400° und Kupfer von 100° gleich 100 setzt, das der übrigen Körper durch folgende Zahlen ausgedrückt wird:

	Platin glühend	Kupfer von 400°	Kupfer von 100°
Kienruss	100	100	100
Bleiweiss	56	89	100
Hausenblase	54	64	91
Tusche	95	87	85
Gummilak	47	70	72
Blankes Metall	13,5	13	13

Bleiweiss absorbirt also z. B. vom glühenden Platinblech viel weniger Wärme als vom Kupfer, die Tusche mehr, Kienruss aber von allen am meisten. Um zu sehen, in welchem Verhältniss die Menge der verschiedenen, vom Kienruss absorbirten Wärmefarben zu einander stehen,

stellte *Melloni* vor einer beliebigen Wärmequelle einen auf beiden Seiten berussten Metallschirm so auf, und brachte das Thermoscop so an, dass es bald nur diejenigen Strahlen auffing, welche von der der Wärmequelle zugewandten Seite des Schirms ausgingen, bald nur die von der entgegengesetzten Seite. Er fand, dass der Russ im ersten Fall nur wenig diffuse Wärme zurückwarf, und dass das Verhältniss der strahlenden Wärmemengen in beiden Fällen bei jeder Wärmequelle nahezu das nämliche war. Bei Bleiweiss und andern Körpern war diess nicht der Fall. Die Metalle dagegen zeigten für alle Arten von Wärme ein fast gleiches Reflexions- und Zerstreuungs-Vermögen, und verhalten sich also zu den Wärmefarben, wie ein Metallspiegel zu den verschiedenen Arten des Lichtes. So wie ferner farbiges Licht durch diffuse Reflexion von manchen Körpern verändert wird, so hat auch *Knoblauch* nachgewiesen, dass die verschiedenen Arten der Wärme durch Reflexion von verschiedenartigen Oberflächen verändert werden. Diess ist gleichfalls eine Folge der obigen Absorptions- und Emissions-Gesetze.

§. 323.

Das Vermögen der Körper, Wärme durchzulassen, oder ihr *Transmissions-Vermögen,* hat zuerst *Delaroche* untersucht. Er bemerkte, dass wenn die Wärmequelle eine geringere Temperatur als die des siedenden Wassers hat, die davon ausgehenden Wärmestrahlen nur in ganz geringer Menge durch eine Glasplatte gehen; während sie um so leichter durchgelassen werden, je höher die Temperatur der Wärmequelle ist, oder je mehr sich die strahlende Wärme dem leuchtenden Zustande nähert; gleichsam als wenn die strahlende Wärme nur dunkles Licht wäre. Darnach müsste die Sonne sehr heiss sein, weil ihre Strahlen fast alle Körper durchdringen.

Die strahlende Wärme, welche durch eine Glasplatte gegangen ist, durchdringt eine zweite mit geringerem Verluste, und nach dem Durchgang durch eine gewisse Anzahl Platten wird der Verlust eine beständige Grösse. Umgibt man darum einen Lampendocht mit einem Glascylinder, so geht im Verhältniss mehr von dieser Wärme durch ein anderes Glas als vorher. Dasselbe Gesetz befolgt die Wärme in dickern Glasplatten. Denkt man sich diese darum in mehrere Schichten getheilt, so sieht man, wesshalb in den ersten der Wärmeverlust grösser ist, als in den spätern. So wie aber durch manche Körper nur *eine* Lichtfarbe geht, so geht durch andere auch nur *eine* Wärmefarbe; aber die Farbe des Glases scheint auf jede Wärmefarbe Einfluss zu haben, indem durch farbiges Glas immer weniger Wärmestrahlen gehen als durch reines. Die von einem Körper durchgelassenen Wärmestrahlen gehen durch einen andern mit grösserer oder geringerer Leichtigkeit, wie die farbigen Lichtstrahlen. Von 100 durch weisses Glas, grünes Glas, grünen Turmalin und gelben Bernstein gegangenen Wärmestrahlen gingen, nach den Versuchen von *Melloni*, nur 27, 5, 7, 30 durch dieselbe Alaunplatte. Die durch eine Alaunplatte gegangenen Wärmestrahlen durchdringen dagegen fast alle farblosen durchsichtigen Mittel, und nähern sich also denen der Sonne. Der Unterschied zwischen den Eigenschaften der irdischen Wärmestrahlen und der mit dem Sonnenlichte verbundenen, entspringt nach Melloni nur aus der Mengung mehrerer Strahlengattun-

gen in verschiedenen Verhältnissen. Flammen senden, wie die Sonne, alle Gattungen von Wärmestrahlen, aber in verschiedenen Verhältnissen, aus. Auf das Transmissions-Vermögen der Körper hat, ausser ihrer materiellen Beschaffenheit, Dicke und Farbe, auch die Politur derselben Einfluss. Glasplatten von gleicher Dicke und einerlei Stoff lassen um so mehr Wärme durch, je polirter ihre Oberfläche ist. Körper, welche die Sonnenstrahlen sehr leicht durchlassen, werden davon nicht viel erhitzt; Weingeist entzündet sich nicht im stärksten Brennspiegel, wenn er sich in einem Becherglase befindet. Auch weisse Körper werden wenig erhitzt.

Durch Steinsalzplatten, die klar und polirt sind, gehen von 1000 Wärmestrahlen immer 923 durch, die Platten mögen innerhalb der Beobachtungsgränzen dick oder dünn sein. Diess beweist, dass der Verlust der 77 Strahlen nur von der Reflexion an der Vorder- und Hinterseite herrührt, und nicht von der Absorption. Das Steinsalz lässt also die Wärmestrahlen mit viel weniger Verlust durchgehen, als irgend ein Körper das Licht, da von dickern Körpern immer mehr Licht absorbirt wird, als von dünnen. Bei Glas und Bergkrystall und vielen andern Körpern, die in dieser Hinsicht untersucht worden sind, ist die Wärme-Absorption beträchtlich; die Reflexion an den beiden Flächen scheint dagegen immer einen Verlust von 77 Strahlen auf 1000 oder von $\frac{1}{13}$ zu bewirken; denn nimmt man z. B. eine Glasplatte von 8 Millim. Dicke und sechs andere von verschiedenen Dicken, so dass sie zusammen 8 Millim. Dicke haben, so gehen durch die erste von 1000 Wärmestrahlen 230, und durch die sechs andern nur 150. Da nun die Absorption in beiden Fällen die nämliche ist, so rührt die Schwächung um 80 Strahlen von der Reflexion durch die fünf übrigen Platten her. Nimmt man aber an, dass von dem nicht absorbirten Lichte $\frac{1}{13}$ durch die Reflexion von der ersten Platte verloren ging, so bleiben $\frac{12}{13}$ übrig. Nach der Reflexion von der zweiten Platte sind $\frac{12}{13}$ von diesen $\frac{12}{13}$ übrig, also $\left(\frac{12}{13}\right)^2$, und nach der Reflexion von der sechsten Platte $\left(\frac{12}{13}\right)^6$, und in der That ist nahezu $\frac{12}{13} : \left(\frac{12}{13}\right)^6 = 230 : 150$.

Aus der Verschiedenheit des Transmissions-Vermögens erklärt sich unter Anderem die Hitze, die im Sonnenschein hinter den Glasfenstern der Treibbeete entsteht. Während die Sonnenstrahlen leicht durch Glas gehen und den innern Raum erwärmen, werden die Wärmestrahlen der Pflanzen und des Bodens nicht durchgelassen, sondern vom Glas absorbirt, und tragen durch Ausstrahlung von diesem zur Erwärmung des ganzen Raumes bei.

§. 324.

Die Wärmestrahlen jeden Ursprungs sind *brechbar*, wie die Lichtstrahlen. Wenn man ein Prisma aus Steinsalz nimmt und es hinter die Oeffnung des Schirms F in Fig. 440, Seite 390, durch welche Wärmestrahlen gehen, auf das Tischchen G stellt, so werden sie nach den Brechungsgesetzen zur Seite abgelenkt, und man muss der Thermosäule eine schiefe Stellung geben, damit eine Ablenkung der Magnetnadel erfolgt. Da man die Temperatur-Erhöhung nur in *einer* Richtung wahrnimmt, so kann sie keine Folge der Erhitzung des Prisma's sein. Die Untersuchung der, jeder Wärmegattung eigenen Brechbarkeit hat jedoch noch zu keinem entscheidenden Resultat geführt; doch werden die Wärmestrahlen, welche von heisseren Quellen herrühren, stärker gebrochen, als die von weniger heissen. So z. B. die einer Oellampe weniger,

als die des erhitzten Kupfers. Es stellt sich also auch hier ein Unterschied der Diathermansie, wie bei dem farbigen Lichte, heraus. Das mittlere Brechungsverhältniss der Wärmestrahlen ist nach *Forbes* kleiner, als beim Lichte. Schwarzes Glas und schwarzer Glimmer lassen nur solche Strahlen durch, welche die mittlere Brechbarkeit besitzen und sich also wie gelbes Licht verhalten, während berusstes Steinsalz nur die am wenigsten brechbaren Wärmestrahlen durchlässt, die sich also wie Roth verhalten. Bei Wärmestrahlen, die durch mehrere Körper gegangen sind, ist das Brechungs-Vermögen erhöht, weil nur die brechbarsten durchgehen; diese verhalten sich also wie blaues oder violettes Licht. Mit der Brechbarkeit eines Körpers steht auch sein Vermögen, die Wärmestrahlen durchzulassen, im Zusammenhange; Flintglas z. B. bricht das Licht stärker, als Crownglas, und lässt auch die Wärme leichter durch. Aus der Brechbarkeit der Wärmestrahlen folgt, dass sie durch eine convexe, diathermane Linse in einem Brennpunkte vereinigt werden können, wie die Lichtstrahlen. Vorzüglich geeignet hiezu ist eine Linse von Steinsalz, weil dieses universell diatherman ist. Auch ein durch Mangan fast bis zur Undurchsichtigkeit violett gefärbtes Brennglas bringt in seinem Brennpunkte durch Vereinigung der von einem Haufen glühender Kohlen kommenden Wärmestrahlen eine weit grössere Hitze hervor, als ein gewöhnliches Brennglas von gleicher Grösse.

Um parallele Wärmestrahlen zu erhalten, leitet man die divergirenden Wärmestrahlen auf eine Linse von Steinsalz, und bestimmt den Ort ihrer Vereinigung durch die Wirkung, die sie auf eine thermoëlektrische Säule hervorbringen. Nun bringt man eine zweite, etwas kleinere Steinsalzlinse parallel mit der ersten in dem Abstande von dem Vereinigungsorte der ersten an, welcher der Brennweite der zweiten Linse gleich ist. Diese Verbindung von mehreren Steinsalzlinsen ist ganz dieselbe, wie beim astronomischen Fernrohre.

§. 325.

Aus dem vorigen §. erklärt sich, warum auch die in dem Sonnenlichte vorkommenden Wärmestrahlen mit diesem gebrochen werden, und worauf also die Wirkung des Brennglases beruht. *Seebeck* hat gefunden, dass der Ort der grössten Wärme des Sonnenspectrums mit der chemischen Natur der Substanz, aus welcher das Prisma verfertigt ist, sich ändert. Beim Crownglas-Prisma fallen die meisten Wärmestrahlen in's Roth, bei einem mit Schwefelsäure gefüllten Prisma in's Orange und bei einem mit Wasser gefüllten in's Gelb. Beim Flintglas-Prisma fällt die wärmste Stelle ausserhalb Roth, und bei einem Steinsalz-Prisma findet man, dass die Temperatur vom Violett bis zum Roth zunimmt, ja noch in den dunkeln Raum hinein wächst, bis zu einem Abstande, der fast so gross ist wie der des Roth vom Gelb; darauf nimmt sie rasch ab, und in einer Entfernung von dieser Stelle, welche einem Drittheil der Länge des Farbenspectrums gleich ist, hört alle merkliche Wärmewirkung auf. Hierauf gründet sich die in §. 243 schon beschriebene Verschiedenheit der Wärme in einem Spectrum, welches durch ein Flintglas-Prisma hervorgebracht wird. Nach *Melloni* sind auch die sogenannten dunkeln Strahlen *Ritter's*, welche jenseits des Violett liegen und durch ihre chemischen Wirkungen bekannt sind, noch wärmend.

Die Verschiedenheit des Wärmespectrums in verschiedenen Prismen erklärt *Melloni* auf folgende Art: In einem nicht aus Steinsalz bestehenden, durchsichtigen Prisma werden wegen der mit der Dicke zunehmenden Absorption der Wärmestrahlen die Theile des Wärmebüschels, welche nahe am Scheitel des Prisma's eindringen, reichlich durchgehen, von welcher Substanz das Prisma auch sei, weil sie nur eine höchst kleine Dicke zu durchdringen haben. Ferner wird es bei allen möglichen Arten von Wärmestrahlen Theile derselben geben, die vermöge ihrer Diathermansie das Prisma an einer dickeren Stelle durchdringen. Desshalb muss der gebrochene Strahlenbüschel sehr verschieden von dem einfallenden sein, und das Wärmespectrum sich sowohl nach der Wärmequelle, als nach dem brechenden Winkel und der Substanz des Prisma's richten. Die räthselhafte Vertheilung der Wärme im Sonnenspectrum ist aber dadurch nur zum Theil gehoben, indem, wie oben gesagt wurde, bei dem durch ein Steinsalz-Prisma entstandenen Spectrum des Sonnenlichtes, nicht nur die Intensität der Wärme gegen das Roth, also die weniger brechbare Farbe, zunimmt, sondern auch das Maximum durch einen beträchtlichen Zwischenraum davon getrennt ist, welches gleichsam auf eine eigene, von der Lichtfluth unabhängige Wärmefluth hindeutet. Die brechbarsten Strahlen sind zugleich diejenigen, welche im Allgemeinen am tiefsten in die Körper eindringen.

Die Wärmestrahlen der Sonne ändern sich in Folge der Absorption, ihrer Intensität und Qualität nach beim Durchgang durch die Atmosphäre, und sind darum wesentlich verschieden bei hohem und niedrigem Stand der Sonne.

§. 326.

Die Wärmestrahlen sind ebenso, wie die Lichtstrahlen, der Polarisation und der Doppelbrechung unterworfen.

Um die Polarisation der irdischen Wärmestrahlen nachzuweisen, wendeten *Melloni* und *Forbes* folgendes Verfahren als das wirksamste an. Man leitet die Wärmestrahlen einer glühenden Platinspirale auf eine Steinsalzlinse und bewirkt eine Parallelität derselben auf die im §. 324, Anm., angegebene Art. Den aus parallelen Wärmestrahlen bestehenden Büschel lässt man nun durch ein System von parallelen Glimmerplättchen gehen, deren Polarisations-Achsen genau parallel sind. Zu diesem Ende spaltet man eine dicke Platte Glimmer über Kohlenfeuer in 120 dünne Plättchen, und legt sie, wie in der natürlichen Lage, über einander. In senkrechter Richtung geht dann fast keine Wärme durch, wohl aber in schiefer Richtung, und das Maximum erreicht die durchgehende Wärme bei obigem Apparat unter einem Einfallswinkel von $33\frac{1}{2}^{0}$. Es folgt daraus, dass die Wärmestrahlen in den ersten Plättchen durch Brechung polarisirt worden sind, und darum die folgenden ohne Verlust durchdringen können. Viel leichter erhält man polarisirte Wärmestrahlen im Sonnenlichte, wenn man dieses unter dem Polarisationswinkel auf eine Glastafel fallen lässt.

Die Doppelbrechung der Sonnenwärme kann man nach *Knoblauch* eben so leicht nachweisen, indem man mittelst des Heliostats einen Sonnenstrahl auf ein Kalkspathprisma leitet, und die entstehenden Wärme- und Lichtbüschel nun mittelst eines Thermoscops untersucht, wozu

dasselbe eine schmale, zugeschärfte Kante haben muss. Auch hier gibt es einen gewöhnlich gebrochenen und einen ungewöhnlich gebrochenen Wärmestrahl, deren Intensität dieselben Gesetze wie beim Licht befolgt. Ferner wird in der optischen Achse des Kalkspaths die Wärme gleichfalls nicht doppelt gebrochen, und ein *Nicol*'sches Prisma kann eben so gut zur Polarisation der Sonnenwärme dienen als zu der des Lichts. Ein polarisirter Wärmestrahl geht nicht durch den zweiten Nicol, wenn die Ebene seines Hauptschnitts nicht parallel zu den Schwingungen des Strahles ist u. s. w. Bei solchen Versuchen müssen aber die Prismen sehr nahe neben einander stehen; ein Beweis, dass die Intensität der durch dieselben gegangenen Wärmestrahlen sehr schnell mit der Entfernung von ihnen abnimmt. Früher schon hat *Melloni* durch Versuche bestätigt, dass die Wärmestrahlen *irdischer* Abkunft durch doppelte wie einfache Brechung gleich gut und vollständig polarisirbar sind, und in Verbindung mit *Biot* fand er, dass es auch eine Drehung der Polarisationsebene nach rechts und links im Bergkrystall und andern Körpern gibt, wie bei dem Licht.

Weitere Beweise für die Polarisation der Wärmestrahlen finden sich in den Resultaten, die *Knoblauch* erhielt, als er Wärmestrahlen durch würfelförmig geschliffene Krystralle gehen liess. Dieselben gingen nach verschiedenen Richtungen in ungleicher Menge durch und zeigten sich nachher in ihrem Verhalten gegen diathermane Körper verschiedenartig.

Die Wärmestrahlen, welche *schief* aus einem erhitzten Körper ausfahren, sind nach *Desains* und *de la Provostaye* polarisirt.

§. 327.

Die Beugung und folglich auch die Interferenz der Wärmestrahlen ist gleichfalls in neuerer Zeit von *Knoblauch* und mehreren Andern nachgewiesen worden, und *Forbes* hat sogar, indem er den *Fresnel*'schen Versuch, S. 346, mit einem Steinsalz-Rhomboëder und unter Einwirkung von Wärmestrahlen anstellte, nachgewiesen, dass diese durch die zweimalige vollständige Reflexion gerade wie das Licht verändert wurden. Nach allen diesen Erfahrungen ist es sehr wahrscheinlich, dass strahlende Wärme und Licht, wo sie mit einander auftreten, auch durch die nämlichen Aetherbewegungen hervorgebracht werden, und dass also auch da, wo die strahlende Wärme allein auftritt, ihre Natur von der des Lichtes nicht wesentlich verschieden sein wird. Dennoch gibt es einzelne Erscheinungen, die mit dieser Voraussetzung nicht vollständig übereinstimmen. Dahin gehört sowohl der im §. 325 erwähnte Versuch *Melloni's*, dass in dem Spectrum des Sonnenlichtes, welches durch ein Steinsalz-Prisma erzeugt worden ist, die Wärme vom Violett bis zum Roth zunimmt, als die fernere Thatsache, dass, wenn auch farbige Gläser zwischen das Prisma und den Lichtbüschel eingeschaltet werden, die Wärmeintensität dennoch gleichförmig vom Violett bis zum Roth zunimmt; während die Lichtintensität sehr ungeregelte Veränderungen erleidet, und eine Stelle des Lichtspectrums bald stärker, bald schwächer erleuchtet ist als die nächstfolgende. Auch in der Trennung des Lichtes von der Wärme erkennt man eine Verschiedenheit derselben. Diese Trennung hat *Melloni* bewirkt, indem er Sonnenlicht und irdisches Licht durch eine Wasserschichte gehen liess, die zwischen grünen (mit Kupferoxyd gefärbten) Glasplatten sich befand. Bei gehöriger Dicke derselben

wurden die Wärmestrahlen so stark absorbirt, dass die durch Linsengläser concentrirten, *durchgegangenen Lichtstrahlen nachher nicht die geringste Wirkung auf die empfindlichsten Thermoscope hervorbrachten*, obgleich sie fast eben so intensiv als Sonnenlicht waren. Auch der umgekehrte Fall, in welchem bloss Wärme durchgeht, und kein Licht, findet beim schwarzen Glase und schwarzen Glimmer, und der senkrechten Durchkreuzung zweier Turmaline statt. Endlich ist nicht einzusehen, warum das Mondlicht, dem fast alle Wärme fehlt, auf die jodirte Silberplatte wirkt, und warum überhaupt nach *L. Moser's* Untersuchungen die Wirkungen der Wärme auf diese Platte gänzlich verschieden von denen des Lichtes sind.

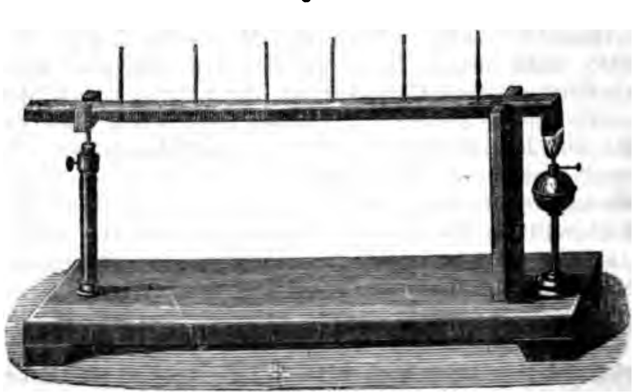
Die Ursache, warum wir dunkle Wärmequellen nicht sehen, kann darin liegen, dass nur die schnelleren Schwingungen des Aethers, welche auch die brechbarsten sind, die Flüssigkeiten des Auges durchdringen, und dass also z. B. ein Ofen im Finstern erst dann sichtbar wird, wenn er zu glühen anfängt. Die Wärmestrahlen, die mit dem rothen Lichte in unser Auge dringen, sind in der That auch brechbarer als die dunkeln Strahlen neben dem Roth des Spectrums.

C. Von der Verbreitung der Wärme durch Leitung.

§. 328.

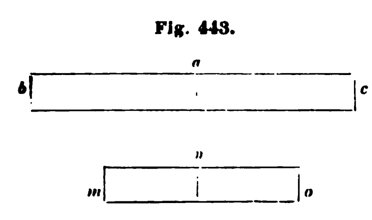
Wenn ein fester Körper an irgend einer Stelle erwärmt wird, so sucht sich die Wärme darin so zu vertheilen, dass alle Punkte gleiche Temperatur erhalten. Eben so ist es, wenn ein erwärmter Körper mit andern von geringerer Temperatur in Berührung kommt. Manche unterscheiden darum innere und äussere Leitung, weil bei dem Uebergang der Wärme von einem Körper auf einen andern die Berührung immer unvollkommen ist und dabei verschiedenartige Theile im Spiele sind. In beiden Fällen wird die Fortpflanzung der Wärme erst nach einer längern oder kürzern Zeit in verschiedenen Entfernungen bemerklich. *Biot*, und in neuerer Zeit *Despretz*, haben das Gesetz, nach welchem sich die Wärme von einem Punkte aus in einem Körper vertheilt, durch Versuche ausgemittelt. In Metallstangen, welche wie Fig. 442 gestaltet

Fig. 442.



und von gleicher Länge und gleichem Querschnitt waren, wurden in gleichen Abständen Vertiefungen zur Aufnahme von Thermometern angebracht. Nachdem ihr Ausstrahlungs-Vermögen durch Vergoldung oder einen andern gleichartigen Ueberzug gleich gemacht war, wurden sie an dem einen Ende erhitzt. Nun ergab sich, dass die Temperatur, von der erhitzten Stelle an, in einer geometrischen Reihe abnimmt, wenn die Entfernungen in einer arithmetischen Reihe zunehmen. Durch das Ausstrahlen der Wärme geht dabei immer ein Theil derselben verloren, und daher kann die Stange an dem einen Ende nie so heiss werden als an der Wärmequelle oder dem andern Ende. Es muss sich darum auch in einer gewissen Entfernung von der Wärmequelle eine constante Temperatur-Differenz zwischen der Luft und dem Wärmeleiter einstellen. Angenommen, es sei nun bei einer Kupferstange bc in c, Fig. 443, die Temperatur-Differenz so gross als bei einer gleichdicken Eisenstange mo in o, während beide in b und m gleich stark erhitzt sind, so muss der Querschnitt in c eben so viel Wärme verlieren als der in o. Eben so hat die Mitte von bc den gleichen Temperatur-Ueberschuss über die Luft, als die Mitte von mo. Ist nun z. B. $ac = 2no$, so gibt die Oberfläche von bc doppelt so viel Wärme an die Luft ab, als die Oberfläche von mo.

Fig. 443.



Diese doppelte Wärmemenge muss aber in bc den doppelten Weg in derselben Zeit durchlaufen als in mo, und darum muss das Wärmeleitungs-Vermögen von bc viermal so gross sein als das von mo. Auf diese Art kam *Despretz* zu dem Schluss, *dass sich die Leitungsfähigkeiten verschiedener Körper verhalten, wie die Quadrate der Entfernungen, für welche die Wärmedifferenzen mit der Luft einander gleich sind.* Dieses Gesetz ist aber nach neueren Untersuchungen nur als eine Annäherung an die Wahrheit zu betrachten, und findet als solche einstweilen hier seinen Platz. Auf diese Art hat man das Wärmeleitungsvermögen vieler Körper bestimmt. Diejenigen Körper, welche die Wärme von andern schnell aufnehmen, und in deren Masse sie sich schnell verbreitet, heissen *gute Wärmeleiter;* andere, bei welchen diess nur langsam erfolgt, nennt man *schlechte* Leiter der Wärme. Wenn man einen kurzen Draht an dem einen Ende erhitzt, so wird er schnell auch am andern Ende warm; bei einem Stückchen Holz ist diess nicht der Fall. Auf diese Art findet man schon, dass die Metalle die besten, Erde, Luft, Wolle, Glas, Haare, Asche, Kohle, Holz u. s. w. schlechte Wärmeleiter sind. Die Erkaltung geht bei demselben Körper um so schneller vor sich, je grösser der Temperatur-Unterschied zwischen ihm und seiner Umgebung ist. *Despretz* hat gefunden, dass die Wärme beim Uebergang von einem festen Körper in einen andern immer geschwächt wird, wie das Licht und der Schall, und dass sie sich darum wahrscheinlich auch strahlend in den festen Körpern verbreitet.

Die Wärmeverbreitung durch Leitung erfolgt nur in Körpern von regulärem Gefüge nach allen Seiten mit gleicher Geschwindigkeit. In Krystallen, welche zu den optisch einachsigen oder zweiachsigen gehören, verbreitet sich dagegen die Wärme auch vermöge der Leitung in

der Richtung der grössern Elastizitätsachse mit grösserer Geschwindigkeit als in der Richtung der kleinern, wie *Senarmont* gefunden hat, indem er unter Andern, eine Kalkspathplatte, die parallel mit der Ebene des Hauptschnitts geschnitten war, gleichförmig mit einer Mischung aus Olivenöl und Wachs überzog, und nach dem Erkalten mit der Spitze eines erhitzten Drahtes berührte oder durch andere Mittel von der Mitte aus erwärmte. Das Wachs schmolz, und bildete nach dem Erkalten einen elliptischen Wall. Bei Platten, senkrecht zur Achse geschliffen, war dieser Wall kreisförmig. Bei zweiachsigen Krystallen deutete er in den verschiedenen Richtungen das Dasein von drei zu einander senkrechten Elastizitätsachsen an, wie bei dem Ellipsoïd Seite 331. Indem *Knoblauch* auf dieselbe Art wie *Senarmont* verschiedene Hölzer untersuchte, fand er, dass sie in der Richtung der Fasern die Wärme viel besser leiten, als in der dazu senkrechten Richtung.

Um die Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Körper zu zeigen, bedient man sich des Apparats von *Ingenhousz*, Fig. 444. In ein Blechgefäss, welches an der Seite runde Oeffnungen hat, kann man mit Korkstücken, kleine Stäbchen von verschiedenen Metallen, von Holz, Glas u. s. w. so befestigen, dass sie noch einige Millimeter in das Innere hineinreichen, und kann sie dann aussen mit Wachs überziehen. Füllt man dieses Gefäss mit heissem Wasser, so schmilzt das Wachs bei den besseren Wärmeleitern zuerst.

Fig. 444.



Aus der schlechten Wärmeleitung der Luft, der Wolle und anderer Körper erklärt sich das Warmhalten unserer Kleider, der Doppelfenster, der Pelze, der Tapeten, hölzerner Wände u. s. w. Schnee und Stroh schützen als schlechte Wärmeleiter vor Kälte, hölzerne Handgriffe vor Hitze. Auch die Empfindung der Wärme oder Kälte eines Körpers ist von der Leitungsfähigkeit abhängig. Der hölzerne Handgriff eines Ofenthürchens strahlt schnell seine Wärme an der Oberfläche aus und ersetzt sie nur langsam aus dem Innern, theilt also der berührenden Hand nur wenig mit. Gutleitende Körper erscheinen dem Gefühl bei höherer Temperatur wärmer, bei niedriger kälter, als schlechtleitende. Quecksilber von 50° erzeugt auf der Hand dieselbe Empfindung von Hitze, als Wasser von 60, Holz von 80 und Luft von 120°.

Nach dem Satz, dass sich die Leitungsfähigkeiten verschiedener Körper verhalten, wie die Quadrate der Entfernungen, für welche die Wärme-Differenzen gleich sind, fand *Despretz*, dass sie sich durch folgende Zahlen ausdrücken lassen: für Gold 1000, Platin 981, Silber 973, Kupfer 898, Eisen 374, Zink 363, Zinn 304, Blei 170, Marmor 23, Porzellan 12, Mauerstein 11, Wasser 9. Ein genaueres Verfahren, welches sich auf die thermoëlektrische Wirkung gründet, haben *Wiedemann* und *Franz* eingeschlagen, und darnach folgende Zahlen erhalten: Silber 1000, Kupfer 736, Gold 532, Messing 236. Zinn 145, Zink 190, Eisen 119, Blei 85, Platin 84, Wismuth 18.

Nach *Rumford* leitet nichts die Wärme schlechter, als Substanzen, welche aus sehr feinen Fäden oder aus kleinen Stückchen zusammengesetzt sind, und sich in wenig Punkten berühren, wie Leder, Wolle in Flocken, Seide in Fäden, Flaumfedern u. s. w. Ausser der Schwierigkeit, Wärme bei so unvollkommener Berührung mitzutheilen, rührt diese Erscheinung wahrscheinlich auch daher, dass die Luft als ein schlechter Wärmeleiter, in den Zwischenräumen gleichsam unbeweglich festgehalten wird. Holz pflanzt die Wärme nach der Richtung der Fasern viel besser fort, als in einer dazu senkrechten Richtung.

§. 329.

In den Flüssigkeiten erfolgt die Fortpflanzung der Wärme durch *Leitung sehr* langsam. Um diess nachzuweisen, füllt man ein Glasge-

fäss *D*, Fig. 445, mit Wasser, und stellt einen dem Differential-Thermometer ähnlichen Apparat *B* hinein. Bringt man nun mit der Oberfläche des Wassers ein mit heissem Oel gefülltes Gefäss *A* in Berührung, so erkennt man an dem langsamen Steigen der Thermometer-Flüssigkeit bei *m*, dass sich die Wasserschichte von oben herab sehr langsam erwärmt. In der That erfolgt auch in den flüssigen Körpern die Mittheilung und Verbreitung der Wärme mehr durch *Strömung* als durch Leitung. Diess beweist folgender Versuch: Wenn man eine Flüssigkeit, z. B. Wasser, mit Bernsteinpulver mengt, und in einer Retorte erwärmt, so steigt in der Mitte das Pulver mit dem Wasser in die Höhe und sinkt an den Wänden wieder nieder. Eine sehr nützliche Anwendung erhielt dieses Emporsteigen der wärmern Flüssigkeit durch *Perkin's* in der *Heizung durch erhitztes Wasser*, welches in Röhren durch die Zimmer geleitet wird. Um davon eine Vorstellung zu erhalten, biege man eine lange Glasröhre, wie in Fig. 446, zu einem Rechteck, und fülle sie durch den Hahn und Trichter *b* mit Wasser, dem man einige Bernsteintheilchen beigemischt hat. Verschliesst man nun den Hahn und erhitzt man das Wasser bei *c* durch eine Weingeistlampe, so circulirt es mit grosser Geschwindigkeit in der Richtung der Pfeile, bis es eine gleichförmige Temperatur angenommen hat. In der Anwendung geben die langen Röhren, welche von Metall sind, ihre Wärme an die Luft ab, und die Circulation wird also nicht unterbrochen. Füllt man nach *Rumford* ein cylindrisches Gefäss mit warmem Wasser, und bedeckt man es mit Eis, so ist dieses bald geschmolzen. Befestigt man aber das Eis am Boden des Gefässes, und giesst man das warme Wasser darüber, so dauert es sehr lange bis das Eis geschmolzen ist, weil die untern Wasserschichten erkalten, und indem sie spezifisch schwerer sind, sich mit den obern nicht vermischen. Die meisten Flüssigkeiten sind übrigens schlechte Wärmeleiter, und man kann daher der Wärmeverbreitung in ihnen sehr zu Hilfe kommen, wenn man entweder jene Bewegung durch Erwärmung einer grössern Bodenfläche befördert, oder sie mit dünnen Metallstreifen durchzieht. In siedend heissem Wasser wird auch durch Hineinwerfen von rauhen Körpern, wie Eisenfeile, das Sieden befördert, und es wallt selbst auf, wenn man kleine Stückchen Eis auf die Oberfläche bringt.

Fig. 445.

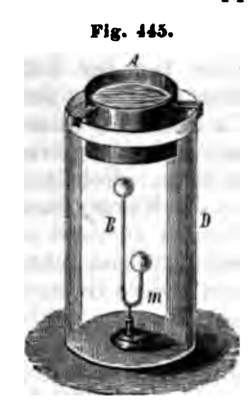
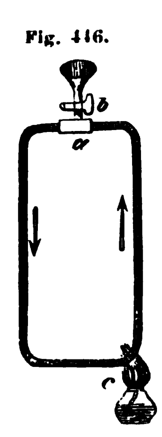


Fig. 446.



Indem *Magnus* auf ähnliche Art, wie in Fig. 445, die verschiedenen Gase von oben erwärmte, und ein in denselben angebrachtes, vor der strahlenden Wärme nach oben geschütztes Thermometer beobachtete, fand er, dass unter allen Gasen das Wasserstoffgas die Wärme am besten leitet und sich in dieser Beziehung wie ein Metall verhält, weil es auch der beste Elektrizitätsleiter unter den Gasen ist und sein Leitungsvermögen mit seiner Dichte zunimmt. Alle andern Gase leiten

schlechter als der leere Raum, und um so weniger, je dichter sie sind. Indem *Clausius* annimmt, die Wärme der Gase bestehe in der lebendigen Kraft der Schwingungen von den Gasatomen, fand er durch theoretische Betrachtungen, dass die Wärmeleitung oder die Uebertragung dieser Schwingungen von einer Schichte auf die andere von der Temperatur des Gases abhängig ist, und mit der Temperatur in demselben Verhältniss wächst, wie die Schallgeschwindigkeit. Ferner, dass dieses Leitungsvermögen bei leichteren Gasen grösser ist als bei schwereren, und desshalb beim Wasserstoffgas am grössten sein muss. Uebrigens wird in den meisten Fällen in elastischen Flüssigkeiten die Wärme durch Strömung verbreitet, wie man aus dem beständigen Steigen der Luft an einem erhitzten Ofen, aus dem Aufsteigen der Staubtheilchen beim Schein der Sonne in ein kurz zuvor gekehrtes Zimmer, und bei andern Gelegenheiten sieht. Hierauf gründet sich auch *Meissner's* Luftheizung. Dabei wird frische Luft in einem eingemauerten Ofen erhitzt und durch Kanäle in die Zimmer geleitet; die darin befindliche kalte oder verdorbene Luft aber dadurch entfernt, dass andere Kanäle sie zu dem Feuerrost des Ofens führen, und nachdem sie dort erhitzt ist, durch den Schornstein ableiten.

Wo aber, wie in Krankenzimmern, in der Stunde 60 bis 100 Cubikmeter frische Luft für jeden Kranken erfordert werden, wird diese durch Ventilatoren hineingetrieben. Die zum Theil verdorbene Luft entweicht durch Kanäle, die in ein gemeinschaftliches vertikales Abzugsrohr führen.

D. Von der Ausdehnung durch die Wärme.

§. 330.

Durch die Wärme wird die zurückstossende Kraft der kleinsten Theilchen eines Körpers vermehrt. Der Zusammenhang fester Körper wird dadurch vermindert; das Streben tropfbarer Flüssigkeiten in den elastisch-flüssigen Zustand überzugehen und die Ausdehnsamkeit der elastischen Flüssigkeiten aber wird vergrössert. Jede Klasse von Körpern erfährt dabei eine Ausdehnung, die bei Körpern von regulärem Gefüge nach allen Richtungen gleichförmig ist; bei solchen aber, die ihrer innern Struktur nach in verschiedenen Richtungen eine ungleiche Elastizität haben müssen, ist auch die Ausdehnung in diesen Richtungen verschieden.

Mitscherlich hat durch sehr genaue Messungen gefunden, dass alle Krystalle welche nicht zum regulären Systeme gehören, sich, wenn sie optisch-einachsig sind, in der Richtung dieser Achse in einem andern Verhältnisse ausdehnen, als nach jeder andern Richtung, und dass, wenn sie zweiachsig sind, ihre Ausdehnung in der Richtung der kleinen Achse verhältnissmässig grösser ist, als in der Richtung der grossen. Eine andere Ausnahme macht auch das leichtflüssige Metallgemisch von *Rose,* welches bei der Annäherung an den Schmelzpunkt sich zusammenzieht. Schmilzt man es in einer Röhre, so zertrümmert es diese im Augenblick des Erstarrens. Wahrscheinlich ziehen sich auch noch andere Metalle vor dem Schmelzen zusammen.

§. 331.

Die Ausdehnung der festen Körper steht mit der Zunahme der Wärme in keinem einfachen Verhältnisse; sie ist bei höheren Tempera-

turen viel stärker als bei niedrigen, doch kann man sie für Temperaturen, welche zwischen 0° und 100° Wärme liegen, der Anzahl der Grade proportional setzen. Die Zahl, welche ausdrückt, um wie viel ein Meter oder die Längeneinheit von einem Körper sich ausdehnt, wenn er um 1° C. erwärmt wird, heisst der *Ausdehnungs-Coëfficient* der Länge. Dehnt sich also ein Meter Zink von 0° bei 100° in den Raum 1,0033 M. aus, so ist die Ausdehnung für 100° = 0,0033 und der Ausdehnungs-Coëfficient = 0,000033. Nach den besten Beobachtungen werden die Ausdehnungs-Coëfficienten der Länge für folgende Körper durch die dabei stehenden Zahlen ausgedrückt:

Blei	0,00002848	Platin	0,00000856
Eisen, Stab, von . .	0,00001167	Silber	0,00001909
bis zu . . .	0,00001440	Stahl, harter . . .	0,00001225
„ Guss	0,00001110	„ weicher . . .	0,00001079
Glas, weisses . . .	0,00000862	Zink, gewalzt . . .	0,00003331
Gold	0,00001466	Zinn	0,00002173
Kupfer	0,00001717	Eis	0,00005180
Messing	0,00001892		

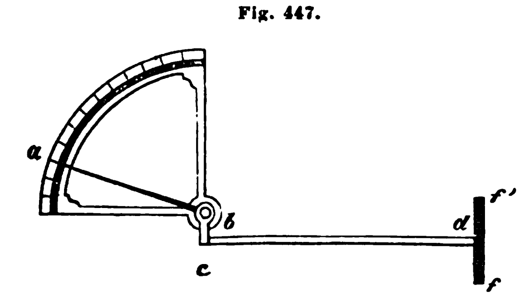
Die Ausdehnung eines Eisenstabs von a Meter Länge bei t^0 Wärme beträgt 0,00001167 . a . t, und seine Länge bei dieser Temperatur ist also

$$a + 0,00001167\, at = a\,(1 + 0,00001167\, t).$$

Aus der linearen Ausdehnung findet man leicht die des Volumens, indem ein Würfel, dessen Seite = 1 M bei der linearen Ausdehnung α das Volumen $(1 + \alpha)^3$ erlangt, und also um $1 + 3\alpha + 3\alpha^2 + \alpha^3 - 1$ oder um $3\alpha + 3\alpha^2 + \alpha^3$ grösser geworden ist. Da aber α gewöhnlich sehr klein gegen 1 ist, so kann man dafür ohne merklichen Fehler 3α annehmen. Es ist also die *räumliche Ausdehnung* gleich 3α oder das *Dreifache* der *linearen Ausdehnung.*

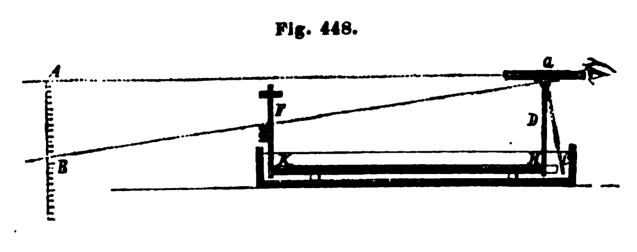
Die Längenausdehnung eines Körpers cd, Fig. 447, bestimmt man dadurch, dass man das Ende desselben gegen einen festen Körper ff' anstemmt, und das andere auf den kürzern Arm bc eines Winkelhebels abc wirken lässt. Der längere Arm ab dieses Instrumentes, welches *Pyrometer* genannt wird, beschreibt, wenn der Körper erhitzt wird, einen Bogen, welcher die Ausdehnung desselben in Graden angibt. Bei dem weit vorzüglicheren Pyrometer von *Laplace* und

Fig. 447.



Lavoisier, Fig. 448, stemmte sich das eine Ende der Metallstange KH, deren Ausdehnung zu untersuchen war, an einen festen Glasstab F, das andere war in Berührung mit einem gläsernen Stabe D, der von einer Stange getragen wurde. Diese Stange liess sich in einem Charnier leicht drehen, und trug an ihrem andern Ende ein Fernrohr a, welches man auf eine sehr entfernte Scala AB richtete. Die zu untersuchende Stange lag horizontal auf zwei Glascylindern in einem Gefässe, welches mit Wasser gefüllt wurde, dessen Wärme man bis zu verschiedenen

Fig. 448.



Temperaturen erhöhen konnte. Die Ausdehnung des Körpers berechnete man aus der Anzahl der Scalentheile, welche der Faden des Fernrohrs während der Erwärmung der Stange durchlief.

Um die cubische Ausdehnung der Metalle zu finden, wandten *Dulong* und *Petit* folgende Methode an: Das Volumen eines Glasgefässes mit abgeschliffenem Rand wurde durch hineingebrachtes Quecksilber bestimmt; das Volumen des abgewogenen Metallstückes dadurch, dass man es bei gewöhnlicher Temperatur in dieses Glasgefäss brachte und das Gewicht des verdrängten Quecksilbers bestimmte. Als das Gefäss bis zu einer bestimmten Temperatur erhitzt war und das Metall sich ausgedehnt hatte, wurde die nun fehlende Quecksilbermenge gewogen und daraus, so wie aus der Ausdehnung des Glases und des Quecksilbers. die des Metalls bestimmt. *H. Kopp* verbesserte diese Methode, indem er Wasser statt Quecksilber anwandte, und dazu ein oben cylindrisches, unten halbkugelförmiges Fläschchen nahm. In den 6 mm. weiten Hals war ein conischer Glasstöpsel eingeschliffen, der an der Seite eine feine Furche hatte. Der Hals war so weit abgeschliffen, dass zwischen ihm und dem Stöpsel keine Rinne blieb. Ueber den Hals passte eine Kappe von Glas, die ebenfalls conisch aufsass, den Stöpsel umschloss und die aus der Furche tretende Flüssigkeit vor der Verdunstung schützte.

Ist nun W das Gewicht des Wassers im Fläschchen bei t^0, P das Gewicht des zu untersuchenden Körpers A, S das Gewicht von dem *Inhalt* des Fläschchens, wenn es den Körper A und Wasser enthält, so ist das Gewicht des von A verdrängten Wassers $= P + W - S$, also die Dichte von A bei t^0 oder $D = \frac{P}{P + W - S}$ im Verhältniss zu Wasser von t^0. In Bezug auf Wasser von 0^0 ist sie also, wenn Wasser sich aus dem Raum 1 bei 0^0 in den Raum V bei t^0 ausdehnt $= \frac{D}{V}$. Eben so ist, wenn bei $t_,^0$ die Dichte $D_, = \frac{P}{P + W_, - S_,}$ gefunden wird, die auf Wasser von 0^0 reducirte Dichte $= \frac{D_,}{V_,}$. Das Volumen U im ersten Fall verhält sich aber zu dem Volumen $U_,$ im zweiten, umgekehrt wie die Dichten; also ist $U : U_, = \frac{D_,}{V_,} : \frac{D}{V}$, folglich auch

$$\frac{U_, - U}{U} = \frac{D}{V} \cdot \frac{V_,}{D_,} - 1.$$

$U_, - U$ zu U ist aber das Verhältniss der Ausdehnung des Körpers von t^0 bis $t_,^0$, also bei $t_, - t^0$ Wärmezunahme, zum ursprünglichen Volumen. Für einen Grad Wärmezunahme ist also diese Ausdehnung nur

$$\left(\frac{D}{V} \cdot \frac{V_,}{D_,} - 1\right) \frac{1}{t_, - t}.$$

Die zur Bestimmung der Werthe von V und $V_,$ nöthigen Zahlen über das Volumen des Wassers bei verschiedenen Temperaturen stehen S. 418. *Kopp* fand durch diese Methode folgende Coëffizienten für die cubische Ausdehnung:

Kupfer	0,000051	Schwefel	0,000183
Blei	0,000089	Kalkspath	0,000018
Zinn	0,000069	Quarz	0,000041
Eisen	0,000037	Glas	0,000023
Zink	0,000089		

Die Kenntniss von der Ausdehnung der Metalle wird mit Erfolg auf die Compensation der Uhrpendel und der Unruhe in den Chronometern angewandt. Allge-

mein wird jetzt bei letzteren die Compensation *Emery's* angebracht, wo durch die Wärme die an der *Unruhe* befindlichen Gewichte dem Centrum näher gerückt werden, also schnellere Schwingungen bewirken, während durch die Ausdehnung der Feder und der Unruhe der Gang der Uhr verlangsamt wird. Die Gewalt, mit welcher die Körper bei verschiedenen Temperaturen sich ausdehnen, ist gleich dem Widerstand, welchen sie beim mechanischen Druck der Zusammendrückung entgegensetzen. Vergl. §. 24. Daher lässt sie sich zu manchen Zwecken benutzen, muss aber auch in vielen Fällen, wie bei langen Röhrenleitungen, metallenen Dächern, eisernen Geländern, dem Erhitzen gläserner Gefässe und dergleichen berücksichtigt werden, wenn sie nicht nachtheilig wirken soll. Will man die Ausdehnung eines Eisenstabes durch die Wärme verhindern, so muss man ihn an dem einen Ende mit einem Gewichte belasten, welches im Stande wäre, ihn um eben so viel zusammenzudrücken.

Obiges Verfahren von *Lavoisier* und *Laplace* ist bei Temperaturen von mehr als 300° nicht mehr anwendbar. *Pouillet* beobachtete darum die Ausdehnung der Metallstäbe durch zwei Fernröhren von kurzer Brennweite, von denen eines fest und das andere beweglich war. Bei 0° waren sie parallel und hatten gleichen Abstand wie die Länge des Stabes. Bei einer höheren Temperatur mussten sie einen Winkel bilden, damit in jedem ein Ende des Stabes gesehen werden konnte. Aus diesem Winkel wurde die lineare Ausdehnung berechnet.

§. 332.

Die Ausdehnung der *elastisch-flüssigen* Körper findet man durch ein Glasrohr, woran, wie bei einem gewöhnlichen Thermometer, eine grosse Kugel geblasen ist. Das Glasrohr muss innen überall vollkommen gleiche Weite haben, wovon man sich auf die beim Thermometer, Seite 385 angegebene Weise überzeugt. Hierauf bestimmt man das Verhältniss des Inhaltes der Kugel zum Inhalte des Rohres, indem man zuerst die Kugel trocken macht, und sodann das Gewicht des Quecksilbers sucht, welches die Röhre aufzunehmen vermag. Ist dieses Verhältniss gefunden, so theilt man das Rohr so ein, dass jeder Raumtheil desselben $\frac{1}{1000}$ von dem Rauminhalte der Kugel ist. Nun bringt man die zu untersuchende Gasart, z. B. atmosphärische Luft, welche durch Chlorcalcium getrocknet sein muss, so in das Rohr, dass sie das Quecksilber der Kugel und eine kleine Menge desselben aus dem Rohre verdrängt, und die zurückgebliebene Quecksilbersäule nahe an der Kugel anfängt. Die Luft nimmt alsdann etwas mehr Raum ein, als 100 Scalentheile der Kugel betragen. Das Rohr mit der Kugel bringt man nun in horizontaler Lage in ein eisernes Gefäss, und steckt es so durch einen Korkstöpsel, der in der Wand desselben angebracht ist, dass die Quecksilbersäule gerade am hervorragenden Theile noch sichtbar ist, wenn das Gefäss mit Wasser von 0° gefüllt wird. Erwärmt man nun das Wasser nach und nach durch untergestellte Weingeistlampen, so wird, indem die Luft sich ausdehnt, die Quecksilbersäule fortgeschoben. Schiebt man nun das Rohr tiefer hinein, so dass die ganze eingeschlossene Luftmasse die Temperatur des Wassers annimmt, so findet man, um wie viel Raumtheile die Luft bei einer gewissen Temperatur sich ausgedehnt hat. Auf diese Art haben *Gay-Lussac* und nach ihm *Dulong* und *Petit* das nahezu richtige Gesetz gefunden, *dass alle permanenten Gasarten bei gleichem Luftdrucke und bei gleichen Temperaturveränderungen sich um gleichviel ausdehnen*, und dass diese Ausdehnung der Wärmezunahme proportional ist, so lange die Gase dem Punkte nicht nahe sind, bei welchem sie durch die Kälte tropfbar-flüssig werden. Es

folgt also daraus auch, dass zwei Gase bei gleichen Temperaturen und gleichem Druck stets dasselbe Dichtigkeits-Verhältniss haben. Auch die Dämpfe der verschiedenen Flüssigkeiten befolgen das nämliche Gesetz, so lange ihre Temperatur erhöht wird, und sie von der Flüssigkeit abgeschlossen sind, aus der sie entstanden. Ueber die Grösse der Ausdehnung, welche die obengenannten Beobachter von 0° bis zu 100° auf 0,375 oder $^3/_8$ angeben, sind aber durch *Rudberg* Zweifel erhoben worden, indem dieser sie nur = 0,365 fand. Diese Zahl stimmt auch mit den Resultaten überein, die *Bessel* erhielt, als er die Ausdehnsamkeit der Luft durch die astronomische Strahlenbrechung berechnete. Die Ausdehnung der Gase ist in der neuern Zeit gleichzeitig von *Magnus* und *Regnault* theils nach den frühern, theils nach ganz neuen Methoden einer genauen Prüfung unterworfen worden, und beide haben als Mittel für Luft den Ausdehnungs-Coëfficienten 0,003665 gefunden. Wenn also das Volumen eines Gases bei 0° gleich 1 ist, so ist es bei 100° gleich 1,3665, und bei jeder andern Temperatur von t Graden gleich $1 + 0{,}003665\,t$. *Regnault* fand zwar, dass dieser Coëfficient bei stärkerem Druck etwas steigt; allein diese Zunahme ist nicht so beträchtlich, dass sie von wesentlichem Einfluss ist. Auch dehnen sich nach ihm mehrere Gase, z. B. die Kohlensäure, etwas rascher aus als die Luft.

Der Einfluss des Drucks auf den Ausdehnungs-Coëfficienten ist nach *Regnault* folgender: Bei einem Druck von 110^{mm} ist der Coëfficient 0,003648 und wächst so, dass er bei einem Druck von 3655^{mm} gleich 0,003709 wird. Bei mittlerem Druck ist er zwischen 0 und 100° C. für

Wasserstoffgas	0,0036613	Stickstoffoxydulgas	0,0037195
Kohlenoxydgas	0,0036688	Cyangas	0,0038767
Kohlensäure	0,0037099	Schweflige Säure	0,0039028

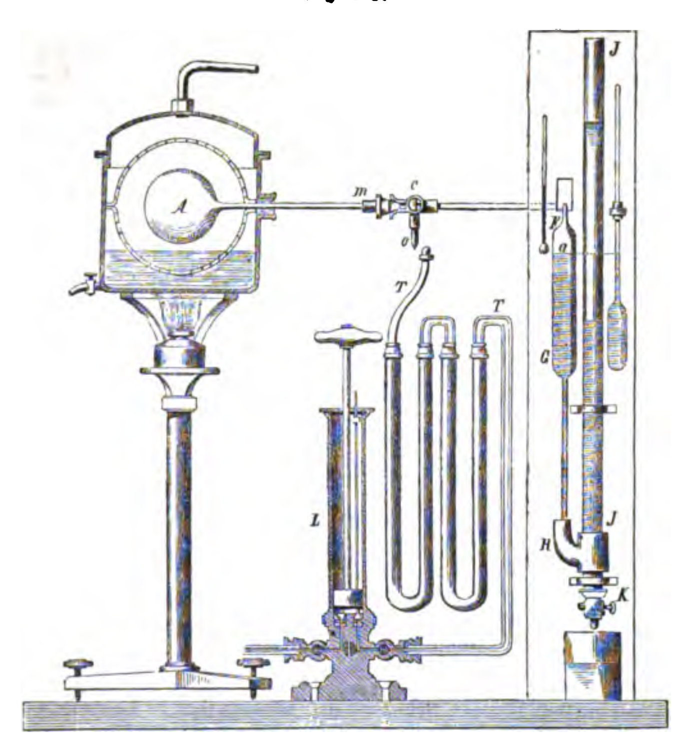
Daraus folgt nach §. 135, dass der Ausdehnungs-Coëfficient um so grösser ist, je leichter sich die Gase tropfbar-flüssig machen lassen.

Nennt man das Volumen eines Gases bei 0° C. und 76 Centimeter Barometerstand x, so ist es bei t^0 C. und 76 Cent. Barometerstand = $x\,(1 + 0{,}003665\,.\,t)$ und bei t^0 C. und b Cent. Barometerstand nach dem *Mariotte*'schen Gesetze $= \frac{76\,x\,.\,(1 + 0{,}003665\,.\,t)}{b}$. Wenn also dieses Volumen $= v$ gesetzt wird, so ist $x = \frac{b\,.\,v}{76\,.\,(1 + 0{,}003665\,.\,t)}$.

Diese Formel wendet man häufig an, um das bei irgend einem Thermometer- und Barometerstande beobachtete Volumen eines Gases auf 0° Wärme und 76 Centim. Barometerstand zu reduciren.

Zur Uebung in den so häufig vorkommenden Beobachtungen bei Gasen finde hier noch eine der von *Regnault* angewandten Methoden, die Ausdehnung der Gase unter veränderlichem Druck zu finden, ihre Stelle. An die Glaskugel *A*, **Fig. 449**, welche zur Aufnahme von 800—1000 Cub.-Cent. Gas dient, ist eine Thermometerröhre geschmolzen. Diese Kugel befindet sich in einem Blechgefäss mit doppelten Wänden, um bald Eis aufzunehmen, bald Wasser, welches von unten erhitzt wird. An das Ende dieser Thermometer-Röhre ist ein Röhrchen *m* von Eisen gekittet, an welches ein anderes Röhrchen mit einem eisernen Senguerd'schen Hahn *c* durch Klemmschrauben luftdicht befestigt werden kann. In dieses Röhrchen ist eine Thermometer-Röhre von gleicher Weite mit dem ersten befestigt, welches zu dem Manometer *GHJ* führt. Dieses besteht aus einer vollkommen cylindrischen Glasröhre *FG*, deren Fortsetzung bei *H* in ein eisernes Verbindungsstück mit dem Hahn *K* gekittet ist und aus einer mit der ersten Röhre communicirenden Glasröhre *JJ*.

Fig. 449.



Durch die Seitenöffnung *co* kann der Ballon *A* mit einem Trockenapparate *TT* in Verbindung gesetzt werden, der mit einer Handluftpumpe *L* verbunden ist. Der Trockenapparat besteht aus zwei Glasröhren, die Chlorcalciumstücke oder Bimsstein und Schwefelsäure enthalten. Die Manometerröhren müssen vollkommen trocken sein, so wie das Quecksilber, welches man hineingiesst. Das Wasser in dem Blechgefäss wird nun zuerst in's Sieden versetzt und, um während dessen den Ballon mit vollkommen trockener Luft zu füllen, setzt man die Seitenöffnung *o* mit dem Trockenapparat *TT'* in Verbindung, während der Hahn *c* so gestellt ist, dass das Manometer vom Ballon abgeschlossen bleibt. Man pumpt alsdann die Luft sehr oft aus dem Ballon, während man, nach jedesmaligem Auspumpen, langsam wieder neue Luft durch den Trockenapparat hineinstreichen lässt. Ist die Luft in *A* vollkommen trocken und das Manometer bis *F* mit Quecksilber gefüllt, so setzt man durch Drehung des Hahns *c* die Kugel *A* mit dem Manometer in Verbindung, während sie auch mit dem Trockenapparat communicirt. Oeffnet man den Hahn *K*, so fliesst das Quecksilber heraus und der bei *F* freiwerdende Raum wird durch Luft erfüllt, welche durch den Trockenapparat gegangen ist. Sobald das Quecksilber bis zu dem Strich *a* gesunken ist, und die Luft in *A* die Temperatur des siedenden Wassers angenommen hat, schliesst man den Hahn *K* und stellt den Hahn *c* so, dass der Trockenapparat ausgeschlossen wird. Das Quecksilber steht jetzt auf beiden Seiten des Manometers gleich hoch. Nun entfernt man den Heizapparat unter dem Blechgefäss und lässt die Kugel *A* langsam erkalten. Die Luft zieht sich zusammen und desshalb steigt das Quecksilber bei *a*. Man lässt aber immer wieder so viel durch Oeffnen von *K* ablaufen, dass sich das Quecksilber auf der Höhe bei *a* erhält, selbst wenn das heisse Wasser aus dem Blechgefäss entfernt und der Ballon *A*, durch Umgebung mit Eis, auf 0° gebracht ist. Natürlich muss nun das Quecksilber in dem langen Rohr des Manometers tiefer stehen. Den Höhenunterschied misst man mit einem Kathetometer und beobachtet den Barometerstand; nur muss man noch das Volu-

men V des Ballons A und das Volumen v der Luft über a kennen, die nicht zum Ballon gehört und mit der äussern Luft gleiche Temperatur hat. Das erste Volumen V findet man durch Wägen des Ballons A vor und nach seiner Füllung mit destillirtem Wasser; das zweite v, indem man das Manometer erst ganz mit Quecksilber füllt, so dass gar keine Luft mehr darin ist, und dann bei K so viel Quecksilber abfliessen lässt, bis es nur noch bei a steht, und darauf das herausgeflossene Quecksilber wiegt.

Nun hätte man alle Daten zur Berechnung des Ausdehnungs-Coëfficienten. Ist nämlich α der Ausdehnungs-Coëfficieut des Gases, t die Temperatur des siedenden Wassers während des Barometerstandes h, t' die Temperatur der Luft und des Gases über dem Strich a, die das Volumen v hat, h' die Barometerhöhe, welche später beobachtet wurde, als der Ballon die Temperatur 0° angenommen hatte, z die Höhendifferenz des Quecksilbers in den beiden Schenkeln des Manometers, bei der zweiten Beobachtung, und μ der Ausdehnungs-Coëfficient des Glases, so ist das auf den Barometerstand 1 und auf 0° Wärme reducirte Luft-Volumen bei der letzten Beobachtung $= \left(V + \frac{v}{1 + \alpha t'}\right)(h' - z)$. Die Glaskugel dehnt sich bei der Siedhitze t in den Raum $V(1 + \mu t)$ aus und obige Luft erfüllt also nachher den Raum $V(1 + \mu t) + v$. Bei diesem Volumen hat die Luft in V die Temperatur t und die in v die Temperatur t' und beide üben den Druck h aus. Daher ist ihr auf 0° Wärme und den Barometerstand 1 reducirtes Volumen

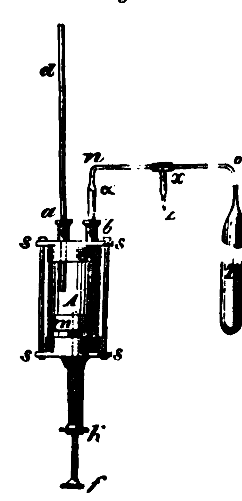
$$= \left(\frac{V(1 + \mu t)}{1 + \alpha t} + \frac{v}{1 + \alpha t'}\right) h.$$

Diese reducirten Volumen sind aber gleich; folglich ist

$$\left(V + \frac{v}{1 + \alpha t'}\right)(h' - z) = \left(\frac{V(1 + \mu t)}{1 + \alpha t} + \frac{v}{1 + \alpha t'}\right)$$

woraus der Ausdehnungs-Coëfficient α leicht gefunden wird. Man kann nun eine zweite Bestimmung des Coëfficienten machen, indem man die Luft auf's Neue mit dem Trockenapparat in Verbindung setzt und trockene Luft einstreichen lässt, bis das Quecksilber in beiden Schenkeln des Manometers die Höhe von dem Striche a hat und auf 0° erkältet ist. Hierauf erwärmt man den Ballon bis zur Siedhitze des Wassers und giesst in den längern Schenkel des Manometers so lange Quecksilber nach, bis es in dem kürzern wieder bei a steht, liesst die Niveau-Differenz ab und berechnet auf ähnliche Art den Ausdehnungs-Coëfficienten. Auf ähnliche Art verfährt man bei Bestimmung des Ausdehnungs-Coëfficienten, wenn die Luft in A durch die Pumpe verdichtet worden ist. Hier kann die nähere Beschreibung des Verfahrens aber des Raumes wegen nicht stattfinden.

Fig. 450.



Erst durch die genaue Kenntniss von dem Zusammenhang zwischen der Wärme und der Ausdehnung der Luft und bei der Annahme von der Unveränderlichkeit des *Mariotte*'schen Gesetzes bei hohen und niedern Temperaturen, ist man in den Stand gesetzt, die Spannkraft oder die Ausdehnung selbst als Maass für die Wärmezunahme zu gebrauchen. Das in der Fig. 450 abgebildete *Luftthermometer*, welches *Rudberg* angegeben und *Regnault* verbessert hat, ist einer der bequemsten Messapparate dieser Art, und beruht darauf, dass die Expansivkraft der Luft um so höher steigen muss, je grösser bei gleicher Dichte und bei gleichem Volumen ihre Temperatur ist. Ein cylindrisches Glasgefäss T von $30 - 40^{mm}$ Durchmesser und $180 - 200^{mm}$ Länge, oder eine Glaskugel ist an ein feines Thermometerrohr xo gelöthet, welches bei o rechtwinklicht umgebogen ist. Ein gleiches Thermometerrohr xn ist bei α an ein weiteres Glasrohr geschmolzen, welches unten in eine feine Spitze ausgezogen ist und in ein Quecksilbergefäss A taucht. Beide Röhren sind bei x durch eine Fassung luftdicht verbunden. In letztere ist noch die ausgezogene Glasröhre xz gekittet, welche mit den beiden andern communicirt. Das Gefäss A ist ein Cylinder von Krystallglas, dessen oberes und unteres Ende zwischen starke Metallplatten mittelst der Schrauben ss, ss gepresst werden kann.

Die obere Platte trägt zwei Stopfbüchsen a und b, durch welche die gleichweiten Glasröhren ad und αb luftdicht befestigt werden können. An der untern Platte ss ist eine Schraubenmutter, durch welche die starke Schraube km geht, die zur Verschiebung des Kolbens m dient. Dieser Kolben ist von Eisen und durch Werg und Seife genau anschliessend gemacht. Durch die Schraube k geht noch eine engere Schraube f und kann bis über m hinaufgeschraubt werden. Der Cylinder A ist mit Quecksilber gefüllt. Ganz oben an dem Rohr b ist bei α eine feine Linie als Marke gezogen. Die Luft in T muss vollkommen trocken sein. Desshalb wird bei z eine Chlorcalcium-Röhre befestigt, die zur Luftpumpe führt und wieder entfernt wird, nachdem man sehr oft die Luft ausgepumpt und durch trockene ersetzt hat. Gleich nachher wird die Röhre bei z zugeschmolzen. Hierauf bricht man die feine Spitze des Rohrs nb unter dem Quecksilber in A ab durch ein Eisen, das bei a hineingebracht wird, füllt den Raum in A vollends ganz mit luftfreiem Quecksilber an und befestigt nun die Barometerröhre ad in der Stopfbüchse a. Vor dem Gebrauch bringt man das Gefäss T in Eiswasser von 0^0, schraubt zuerst k und dann zur feineren Berichtigung f so lange in die Höhe, bis das Quecksilber genau bei dem Strich α steht. Nun misst man genau die Höhe h des Quecksilbers in ad über der Marke α und notirt den Barometerstand b. Der Druck auf die in T eingeschlossene Luft, deren Volumen bei 0^0 gleich V ist, beträgt also $h + b$. Eben so gross ist die Expansivkraft der Luft in der Röhre von n bis o, deren Volumen v ist und welche die Temperatur t der umgebenden Luft hat. Das auf 0^0 und den Druck 1 reducirte Volumen der Luft in V und in v ist also $= \left(V + \frac{v}{1 + \alpha t}\right)(h + b)$, wenn α der Ausdehnungs-Coëfficient der Luft ist.

Will man bei höherer Temperatur Gebrauch von diesem Thermometer machen, so bringt man den Cylinder T in den Raum, dessen Temperatur zu bestimmen ist, während man den Kolben m höher hinauf schraubt, damit das Quecksilber in der Röhre ad steigt und die Luft in T auf ihr früheres Volumen zusammendrückt. Hat die Luft die Temperatur der Umgebung, z. B. des Dampfes oder des Gases, angenommen und steht wieder das Quecksilber genau bei α, so beobachtet man die Höhe h' des Quecksilbers in ad über α und notirt dem Barometerstand b', ferner die Temperatur der äussern Luft $t_,$ und ist der Ausdehnungs-Coëfficient des Gefässes T gleich k, so ist bei $t_{,,}$ Grad das Volumen des Gefässes $T = V\,(1 + kt_{,,})$; die Luft in v hat die Temperatur $t_,$ und beide Luftmengen in $V\,(1 + kt_{,,})$ und in v haben die Expansivkraft $h' + b'$. Das auf 0^0 und den Druck 1 reducirte Volumen beider ist also

$$= \left(\frac{V\,(1 + kt_{,,})}{1 + \alpha t_{,,}} + \frac{v}{1 + \alpha t_,}\right)(h' + b').$$

Da nun die obige Luftmenge noch dieselbe ist, so muss

$$\left(V + \frac{v}{1 + \alpha t}\right)(h + b) = \left(\frac{V\,(1 + kt_{,,})}{1 + \alpha t_{,,}} + \frac{v}{1 + \alpha t_,}\right)(h' + b')$$

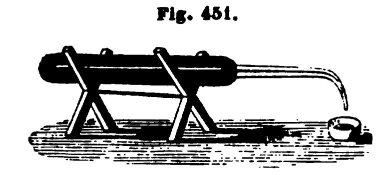
sein, woraus sich $t_{,,}$ durch Rechnung finden lässt.

Dieses Luftthermometer kann man zur Vergleichung mit dem Quecksilberthermometer und bei der Messung der Temperatur von Dämpfen und dergleichen anwenden. Bei sehr hohen Temperaturen bringt man mittelst der Luftpumpe die Luft in T erst auf ein Drittheil oder Viertheil ihrer Dichte, damit das Gefäss T keinem zu starken Druck unterworfen werden muss.

§. 333.

Um die Ausdehnung der tropfbar-flüssigen Körper zu bestimmen, bedient man sich entweder desselben Apparates, wie bei der Bestimmung der Ausdehnung der Gasarten, oder des Verfahrens, welches *Petit* und *Dulong* beim Quecksilber angewandt haben. Im ersten Falle erhält man nur die *scheinbare Ausdehnung* der Flüssigkeit, wenn man die des Glases nicht berücksichtigt. Am besten nimmt man dazu einen Glascylinder, wie in Fig. 451, an welchen ein Thermometerrohr geschmolzen ist, welches an seinem Ende umgebogen wird. Man wiegt zuerst dieses Gefäss leer, füllt es z. B. mit Quecksilber bei 0^0 und wiegt es abermals. Da-

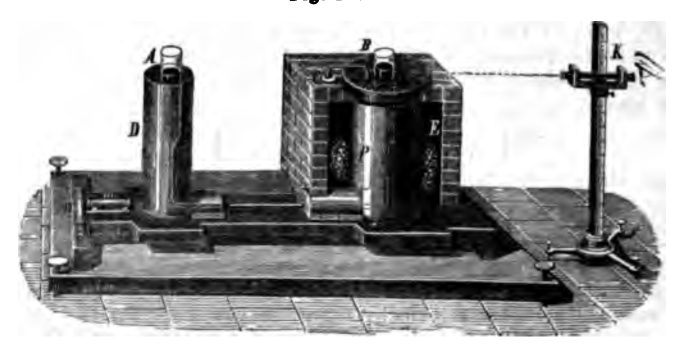
Fig. 451.



durch erhält man das Gewicht P des aufgenommenen Quecksilbers. Hierauf erwärmt man es in heissem Wasser oder Oel, dessen Temperatur man misst, und fängt das austretende Quecksilber in einem Schälchen auf. Das Gewicht des ausgetretenen Quecksilbers sei p, das Gewicht des zurückgebliebenen $P-p$. Es hat also den Schein, als hätten sich $P-p$ Gr. Quecksilber von 0^0 bis t^0 um das Volumen von p Gr. Quecksilber ausgedehnt oder als hätte sich 1 Theil Quecksilber bei 1^0 um $\frac{p}{(P-p)\,t}$ ausgedehnt. Diese Zahl $\gamma = \frac{p}{(P-p)\,t}$ nennt man den *scheinbaren Ausdehnungs-Coëfficienten.* Ist letzterer einmal bekannt, und wendet man immer dieselbe Glassorte an, so kann man umgekehrt auch durch die Formel $t = \frac{p}{(P-p)\gamma}$ die Temperatur berechnen, nachdem P und p durch die Waage bestimmt sind. Hierauf gründet sich die Anwendung dieses Apparates oder *Barothermometers* zur Temperaturbestimmung.

Bei der zweiten Methode findet man die *absolute* Ausdehnung, ohne die des Glases zu kennen. Zwei vertikale Glascylinder A und B, Figur 452, welche durch eine enge Röhre verbunden sind, werden zum Theil mit einer Flüssigkeit, z. B. Quecksilber, angefüllt, welches alsdann

Fig. 452.



in beiden gleich hoch steht, vide §. 101. Ist aber der eine Cylinder B von einem weitern Gefässe P eingeschlossen, in welchem sich Wasser oder Oel befindet, dessen Temperatur man mittelst des Ofens allmälig erhöht, so wird die in diesem Cylinder eingeschlossene Flüssigkeit spezifisch leichter, und muss sich also nach §. 103 höher stellen als in dem andern Cylinder. Durch ein Kathetometer K, welches man horizontal drehen und höher oder niedriger stellen kann, findet man jene Erhöhung sehr genau. Der Cylinder A wird aber mit Eis umgeben und dadurch die Temperatur des Quecksilbers in A auf 0^0 gebracht; die Temperatur in B sei t. Sie wird durch ein Barothermometer CP bestimmt. Ist der Ausdehnungs-Coëfficient des Quecksilbers gleich α und hat dasselbe in A die Höhe h, so muss es in B die Höhe $h\,(1 + \alpha t)$ einnehmen.

Ist nun die in B nach der Erkältung beobachtete Höhe desselben h', so muss also

$$h' = h\,(1 + \alpha t)$$

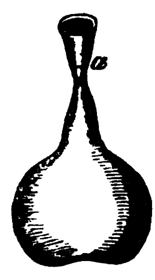
sein. Daraus ergibt sich, dass

$$\alpha = \frac{h' - h}{h t}.$$

Das Resultat der Versuche war, dass von 0° bis 100° der Ausdehnungs-Coëfficient des Quecksilbers $\alpha = \frac{1}{5509} = 0{,}00018153$ ist.

Nachdem der Ausdehnungs-Coëfficient α des Quecksilbers genau bekannt ist, kann man die Methode des Wägens anwenden, um den des Glases zu bestimmen. Haben wieder P und p und t die obige Bedeutung, und ist k der Ausdehnungs-Coëfficient des Glases, ferner V sein Volumen bei 0°, so ist das Volumen desselben bei $t^0 = V\,(1 + k t)$. Da nun bei 0° die Quecksilbermenge P das Volumen V hat, und bei t^0 die Quecksilbermenge $P - p$ das Volumen $V\,(1 + k t)$ ausfüllt, so hat die Quecksilbermenge $P - p$ bei 0° nur das Volumen $\frac{V\,(1 + k t)}{1 + \alpha t}$. Da aber die Volumen bei gleicher Temperatur sich wie die Gewichte verhalten, so ist $V : V\frac{(1 + k t)}{(1 + \alpha t)} = P : P - p$. Daraus folgt $\frac{1 + k t}{1 + \alpha t} = \frac{P - p}{P}$ und $k = \frac{(P - p)\,\alpha t - p}{P t}$ oder der Ausdehnungs-Coëfficient des Glases. Er wird bald mehr, bald weniger als 0,000026. Da die Ausdehnung des Glases nur gering ist, so findet man die Längenausdehnung desselben hinreichend genau, wenn man die cubische Ausdehnung durch 3 dividirt. Nachdem die Ausdehnung des Quecksilbers und des Glases gefunden ist, lässt sich nun die jedes andern Metalls nach §. 332, Anm., bestimmen. Auch die Ausdehnung der übrigen Flüssigkeiten findet man, wenn die des Glases bekannt ist, sehr leicht mit Hilfe des von *Gay-Lussac* angegebenen Apparates, Fig. 453. Ein kugelförmiges Glasgefäss hat bei a einen engen Hals und einen kleinen Trichter. Man füllt es in einer Mischung von Eis und Wasser bei 0° bis an den Strich bei a mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, und bestimmt das Gewicht P derselben. Hierauf erwärmt man die Kugel z. B. bis 60°, giesst die in den Trichter eingetretene Flüssigkeit ab, und bestimmt abermals ihr Gewicht p. Daraus findet man den Ausdehnungs-Coëfficienten der Flüssigkeit α, durch die oben abgeleitete Formel $\frac{1 + k t}{1 + \alpha t} = \frac{P - p}{P}$, worin k der Ausdehnungs-Coëfficient des Glases ist.

Fig. 453.



Ueber die Ausdehnung des Wassers sind viele Versuche angestellt worden. Man hat dabei die früher erwähnte Eigenschaft desselben entdeckt, dass es schon vor dem Gefrieren sich ausdehnt. Nach *Hallström* hat es seine grösste Dicke bei 4,1° C., nach *Despretz* bei 4° und nach *Kopp* bei 4,08°.

Die für manche Untersuchungen sehr wichtige Ausdehnung des Quecksilbers

hat *Regnault* in Beziehung auf das Luft-Thermometer genau untersucht. Nach ihm ist, wenn man das Volumen des Quecksilbers bei $0^0 = 1$ setzt, dieses Volumen bei t^0

$$= 1 + 0{,}00017902\,t + 0{,}000002526\,t^2.$$

Kopp hat für die Ausdehnung des Wassers folgende Werthe gefunden, wobei das Volumen desselben bei 0° gleich 1 angenommen ist.

Temp.	*Volumen.*	*Temp.*	*Volumen.*	*Temp.*	*Volumen.*
0°	1,000000	14°	1,000556	40°	1,007531
1	0,999947	15	1,000695	45	1,009541
2	0,999908	16	1,000846	50	1,011766
3	0,999885	17	1,001010	55	1,014100
4	0,999877	18	1,001184	60	1,016590
5	0,999883	19	1,001370	65	1,019302
6	0,999903	20	1,001567	70	1,022246
7	0,999938	21	1,001776	75	1,025440
8	0,999986	22	1.001995	80	1,028581
9	1,000048	23	1,002225	85	1,031894
10	1,000124	24	1,002465	90	1,035397
11	1,000213	25	1,002715	95	1,039094
12	1,000314	30	1,004064	100	1,042986
13	1,000429	35	1,005697		

Nach *Isid. Pièrre's* Versuchen dehnen sich wahrscheinlich alle Flüssigkeiten stärker aus, als Wasser; dagegen besitzt nur dieses ein Maximum der Dichte.

Das Meerwasser befolgt ein anderes Ausdehnungsgesetz als das übrige Wasser. Nach *A. Ermann* hat es zwischen + 8° und — 3° Wärme kein Maximum der Dichte.

Um nachzuweisen, dass das Wasser bei 4° C. seine grösste Dichte habe, fülle man ein hohes cylindrisches Glas mit Wasser von 0°, und bringe es in ein Zimmer. An den Boden und nahe unter die Oberfläche des Wassers bringe man zwei Thermometer. Man wird alsdann bemerken, dass das untere Thermometer schneller steigt, als das obere, bis es 4° C. angibt; dann aber wird es von dem obern eingeholt, und nun steigt dieses schneller, als das untere. Man kann aber auch den Apparat, Fig. 445, hiezu anwenden.

Weil sich das Wasser von 4° zu Boden senkt, so kann sich im stillstehenden Wasser kein *Grundeis* bilden; wohl aber im fliessenden, weil durch Mischung die Erkältung gleichförmig wird. *Leclerq* hat auch beobachtet, dass die Temperatur des fliessenden Wassers in dem Augenblick, wo es Grundeis bildet, gleich 0° ist; dass es sich dabei, wie alle krystallisirenden Stoffe, am leichtesten an feste Körper ansetzt, ist schon früher beobachtet worden.

Beim Weingeist ist die Ausdehnung verschieden, weil er bald mehr, bald weniger Wasser enthält; auch ist seine Ausdehnung nicht gleichförmig. Absoluter Alkohol dehnt sich nach den Versuchen von *Kopp* in folgendem Verhältniss aus:

Temp.	*Volumen.*	*Temp.*	*Volumen.*	*Temp.*	*Volumen.*
0°	1,00000	30°	1,03242	60°	1,06910
5	1,00523	35	1,03817	65	1,07548
10	1,01052	40	1,04404	70	1,08278
15	1,01585	45	1,05006	75	1,08994
20	1,02128	50	1,05623	80	1,09735
25	1,02680	55	1,06257		

E. Von der Aenderung des Aggregat-Zustandes durch die Wärme und von der Anwendung der Dämpfe.

§. 334.

Durch die Wärme nimmt die abstossende Kraft der Aether-Atome in den Körpern zu, und ihr Aggregat-Zustand wird dadurch in manchen Fällen verändert. Wenn feste Körper in den Zustand des Flüssigseins übergehen, so heisst diese Veränderung *Schmelzung.* Doch können feste Körper auch ihren Aggregat-Zustand ändern, ohne zu schmelzen, indem

sie verdampfen. So z. B. werden Holz, Papier, Wolle und manche Salze durch die Wärme zersetzt und nicht geschmolzen. Der Kohlenstoff widersteht dem Schmelzen am meisten, wird aber nach *Despretz* unter der Einwirkung sehr starker elektrischer Ströme doch biegsam, was die Schmelzbarkeit desselben anzudeuten scheint. Andere Körper verbrennen auch, ohne zu schmelzen. Zusammengesetzte Körper, besonders solche, deren Bestandtheile verschiedene Grade der Schmelzbarkeit oder Verdunstungsfähigkeit haben, während sie sehr wenig chemische Verwandtschaft zu einander besitzen, werden durch die Wärme zersetzt, und von einander getrennt. Hierauf beruht hauptsächlich die *chemische Wirksamkeit* der Wärme. Doch veranlasst sie auch in vielen Fällen die Verbindung der Körper, indem sie die Cohäsion der einzelnen Theile vermindert, und auf die elektrischen Zustände derselben Einfluss hat. Jeder schmelzbare Körper fängt bei einer bestimmten, ihm eigenthümlichen Temperatur zu schmelzen an. Hat er diese erreicht, so steigt seine Temperatur nicht mehr, indem alle Wärme zur Schmelzung seiner übrigen Theile verwendet wird. Eine Vermehrung der ihm zugeführten Wärmemenge hat also nur eine Beschleunigung der Schmelzung zur Folge. Da die Temperatur des geschmolzenen Körpers nicht höher ist als die des schmelzenden, und doch Wärme nöthig ist, um den ungeschmolzenen Theil gleichfalls flüssig zu machen, so muss der geschmolzene Theil *gebundene* oder latente Wärme enthalten. Am leichtesten weist man die Menge der gebundenen Wärme nach, indem man, wenn die Temperatur des Zimmers z. B. 12° ist, ein Pfund Eis von 0° in ein Gefäss bringt, welches 45 ½ Pf. Wasser von 14° enthält. Das Eis wird alsdann schmelzen, und die Temperatur des Wassers auf 12° sinken. Es war also die Wärme von 2° in 45 ½ Pf. Wasser, oder 91° Wärme in 1 Pf. Wasser nöthig, um Eis von 0° in Wasser von 12° zu verwandeln. Um es also nur in Wasser von 0° zu verwandeln, sind 79 Wärme-Einheiten erforderlich.

Manche Körper schmelzen schon bei gewöhnlicher Luftwärme, andere vor ihrem Glühen, manche erst bei sehr hoher Temperatur, und einige gar nicht, wie z. B. Kohle oder Diamant. Folgende Tafel gibt die Schmelzpunkte einiger Körper in Centesimal-Graden an:

Wein	— 5	Blei	325
Milch	—11	Zink	423
Quecksilber	—39	Messing	900
Talg	40	Silber	1000
Phosphor	48	Kupfer	1100
Butter	63	Gusseisen, weisses	1100
Wachs, weisses	68	„ graues	1200
Schwefel	111	Gold	1250
Zinn	228	Stahl	1300—1400
Wismuth	264	Stabeisen	1500—1600

Die Wärmemenge, die beim Schmelzen gebunden wird, beträgt nach *Desains* und *de la Provostaye* beim Wasser 79,1. und nach *Person* beim Blei 5,37, Zink 28,13, Zinn 14,25, Wismuth 12,64 Wärme-Einheiten.

Manche Metall-Legirungen kommen bei sehr niedrigen Temperaturen in Fluss, wie das im §. 60 angeführte *Rose*'sche Metallgemisch. Eine Legirung von 1 bis 2 Theilen Kadmium, 7 bis 8 Wismuth, 2 Zinn und 4 Blei schmilzt nach *Wood* schon bei 66° bis 72°. Man hat verschiedene Legirungen aus Wismuth, Blei und Zinn, welche durch ihr Schmelzen alle Temperaturen zwischen 95° und 380° angeben, und in der Technik von grossem Nutzen sind. Ausserdem beruhen auf der Leichtflüssigkeit mancher Mischungen, das Schnellloth der Klempner und die Zuschläge von Fluss-

spath, Quarz, Borax u. s. w., um andere Körper in Fluss zu bringen. Viele organische und unorganische Körper werden zersetzt, ehe sie schmelzen. *Hall* hat gezeigt, dass manche von ihnen, wie z. B. der Marmor, geschmolzen werden können, wenn man sie einem hohen Drucke während der Erhitzung unterwirft.

§. 335.

Der Schmelzung ist die Erstarrung entgegengesetzt. Wird nämlich dem flüssigen Körper die nöthige Wärme entzogen, so geht er in den festen Zustand über. Dabei krystallisiren viele Körper, und nehmen alsdann häufig einen grössern Raum ein. Eisen z. B. $\frac{1}{100}$ mehr als vorher. Die Gewalt, mit der sich z. B. Wasser beim Gefrieren ausdehnt, sprengt starke eiserne Gefässe. Seine Ausdehnung beträgt $\frac{9}{100}$. Wismuth sprengt die Glasröhre, in der es erstarrt; noch auffallender eine Mischung von 4 Theilen Wismuth, 1 Blei und 1 Zinn, welche bei 44° Wärme ihre grösste Dichte hat. Beim ersteren werden auch zuweilen Körper ausgeschieden, die leichter erstarren, als die mit ihnen verbunden sind, wie z. B. das Wasser aus dem Wein.

Die Temperatur, bei welcher die Körper erstarren, ist in der Regel unmerklich geringer als die, bei welcher sie flüssig werden; doch können manche Körper auch noch bei einer um mehrere Grade niedrigern Temperatur flüssig bleiben, wie z. B. das Wasser, welches bei vollkommener Ruhe bis zu 5° unter Null erkältet werden kann, ohne zu gefrieren, und im luftleeren Raum selbst bis zu — 12°. Schüttelt man es bei dieser Temperatur, so erstarrt ein Theil desselben, und das übrige Wasser hat die Temperatur von 0°. Diese Temperaturerhöhung des übrigen Wassers ist ein Beweis, dass die gebundene Wärme in dem Augenblicke wieder frei geworden ist, in welchem ein Theil des Wassers die feste Gestalt annahm. Am leichtesten stellt man diesen Versuch mit Wasser in einer Glasröhre an, die in eine feine Spitze ausgezogen, durch Kochen luftleer gemacht und dann zugeschmolzen ist. Diese Erscheinung ist nur eine Folge der allgemeinen. von *Desains* nachgewiesenen Regel, dass Flüssigkeiten, die unter dem Gefrierpunkt erkaltet sind und umgerührt werden, nur zum Theil erstarren und der Rest wie der erstarrte Theil die Schmelzwärme annimmt, weil Wärme frei wird. Bei Wasser von — 20° erstarrt der fünfte Theil.

J. Thomson hat aus theoretischen Betrachtungen über die Wärme geschlossen, dass die Körper unter höherem Druck bei niedrigerer Temperatur schmelzen müssen, als gewöhnlich, wenn sie beim Erstarren sich ausdehnen; im umgekehrten Fall aber bei höherer Temperatur. Nach den Versuchen seines Bruders, *W. Thomson,* wird der Gefrierpunkt des Wassers auch wirklich um 0,0074 . n^0 C. erniedrigt, wenn der Druck um n Atmosphären zunimmt. In Folge dieser Entdeckung untersuchte *Bunsen* mehrere Körper, die durch Erstarrung sich nicht ausdehnen, und fand, dass z. B. Wallrath unter gewöhnlichem Luftdruck bei 47,7° C., und unter einem Druck von 141 Atmosphären schon bei 50,5° C., also bei höherer Temperatur erstarrt. Ohne Zweifel hat der ungeheure Druck, welchem viele Körper bei ihrem Erstarren im Innern der Erde unterworfen waren, grossen Einfluss auf ihre mineralogischen Eigen-

schaften gehabt, da es vulkanische Produkte gibt, die in chemischer Beziehung ganz gleichartig und in mineralogischer sehr verschieden sind. Auch könnte dieser Druck Ursache sein, dass die Erde vielleicht in der Mitte einen festen Kern hat und nur in einer gewissen Tiefe flüssig ist.

Nach *M. Forbes* ist die Temperatur des Eises selbst dann noch um 0,16° niedriger, wenn es lange Zeit in Wasser von 0° sich befindet. Daher kommt es wahrscheinlich, dass zwei Eisplatten selbst dann an einander gefrieren, wenn sie in Luft von mehr als 0° sich befinden, und darum Eis an den wollenen Handschuh anfriert, mit dem die warme Hand es hält. Dieses Wiedergefrieren nimmt man auch wahr, wenn Metalle das Eis unter Druck berühren. *Faraday* und *Tyndall* haben Eis zermalmt und in Formen durch Druck wieder zu dichtem Eis (in Vasen u. dgl.) verwandelt. Bei diesem Versuch wird aber sehr viel Eis geschmolzen. Kann sich das Wasser nicht ausdehnen, so hindert dies das Gefrieren. *Mousson* zeigte, dass Eis bei — 18° unter starkem Druck zu Wasser wird. Hier wird die Arbeit in Wärme verwandelt.

Die niedrigsten Schmelz- oder Erstarrungspunkte sind die von Alkohol (ungewässert) bei 130°. Stickstoffoxydul 100, Schwefeläther 90, Schwefelkohlenstoff 52, Kohlensäure 50, Salpetersäure 45,5 C. unter Null. In wässrigen Salzlösungen ist nach *Rüdorff* der Gefrierpunkt um so niederer, je grösser die Menge des gelösten Salzes ist.

Das Wasser erstarrt auch, wenn es unter 0° erkaltet ist und mit Eis berührt wird. In diesem Falle pflanzt sich das Erstarren so lange fort, als noch ein Theil des Wassers weniger als 0° Wärme zeigt. Nach *Mousson* bleiben feine Wassertröpfchen auf einer fein bestaubten Fläche oder auf Sammt u. dgl. um so länger flüssig, je kleiner sie sind, und können weit unter 0° erkältet sein. Wasser in feinen Haarröhrchen und Dunstbläschen desgleichen. Auch Schwefel in kleinen Tropfen, Phosphor, Essigsäure und viele andere Körper können unter den Schmelzpunkt erkältet werden, ohne zu erstarren. Das Freiwerden der gebundenen Wärme zeigt sich auch, wenn gewisse Salzlösungen, z. B. die von Glaubersalz, oder von salzsaurem Kalk stark abgedampft werden und bei vollkommener Ruhe erkalten. In dem Augenblick, wo man sie umrührt, erstarren sie plötzlich, und ihre Temperatur nimmt zu. Sehr merkwürdig sind folgende Versuche von *Dufour*. Wenn Wasserkügelchen in einer gleich dichten Mischung, z. B. von Chloroform und Süssmandelöl schweben, so können sie bei 5° bis 20° unter Null flüssig bleiben durch Berührung mit festen Körpern, mit Eistheilchen und durch Bewegung werden sie dann plötzlich zu Eis.

Nicht alle Körper erstarren, nachdem ihre Temperatur bis zu einem gewissen Grad *gleichförmig* abgenommen. *Rudberg* beobachtete, dass z. B. eine Mischung von Blei und Zinn bei langsamem Erkalten, schon ehe sie fest wird, auf kurze Zeit eine gewisse Temperatur behält, dann weiter erkaltet und nun erst erstarrt. Bei 3 Theilen Blei und 1 Theil Zinn ist jene stationäre Temperatur 280°, bei 1 Theil Blei und 2 Theilen Zinn ist sie 200°, während beide Legirungen bei 179° erstarren. In mehreren Legirungen erstarrt auch zuerst das eine und später das andere Metall.

§. 336.

Geschmolzene Körper nehmen bei noch höherer Temperatur, also bei höher steigender Abstossungskraft, die Luft- oder Gasgestalt an. Auch hier gilt das Gesetz, dass, so lange die Dampfbildung fortwährt, die Temperatur der Flüssigkeit nicht höher steigt. Die Bewegung, welche durch das Aufsteigen der elastischen Flüssigkeit in der tropfbaren hervorgebracht wird, heisst das *Sieden*. Da beim Sieden von Auflösungen der flüssige Körper sich von dem festen trennt, wie z. B. wenn Wasser in Verbindung mit einem Salze kocht, so ist ein höherer

Hitzgrad nöthig, indem erst die Affinität zwischen beiden aufgehoben werden muss.

Donny hat gefunden, dass möglichst luftfreies Wasser erst bei höhern Temperaturen, selbst erst bei 135° in's Sieden kam. Die Cohäsion wird demnach offenbar durch die Anwesenheit der Luft vermindert. Andere merkwürdige Erscheinungen über das Sieden hat *Dufour* beobachtet: Wenn Wassertropfen in einer Flüssigkeit schweben, z. B. in einer Mischung von Leinöl und Nelkenessenz, so können sie bis 178° erwärmt werden, ohne zu verdampfen. Kügelchen von schwefliger Säure, die sich zwischen zwei ungleich dichten Schichten von verdünnter Schwefelsäure schwebend erhalten, verdampfen erst bei 8° Wärme, während schweflige Säure sonst schon bei 10° Kälte siedet.

Bei einem Barometerstande von 28'' sieden folgende Flüssigkeiten bei der in Centesimalgraden angegebenen Temperatur:

Schweflige Säure	− 10	Alkohol	78
Salzäther	12	Salpetersäure	66
Salzsäure, conc.	20	Meerwasser	104
Salpetrige Säure	28	Leinöl	315
Schwefeläther	36	Schwefelsäure, conc. . . .	327
Schwefelkohlenstoff	47	Quecksilber	350

So lange die Dampfblasen die Wärme vom Boden des Gefässes, in welchem Wasser siedet, fortführen, so lange also das Wasser in vollem Sieden ist, kann man den Boden irdener Töpfe ohne Schaden berühren.

Wenn zwei Flüssigkeiten mit einander gemengt werden, welche keine chemische Anziehungskraft zu einander haben, und die flüchtigere von beiden ist unter die schwieriger verdampfbare Flüssigkeit gelagert, wie z. B. beim Schwefelkohlenstoff und Wasser, so ist nach *G. Magnus* die Temperatur des Siedpunktes der Mengung stets etwas höher, als der Kochpunkt der flüchtigsten von beiden; die Temperatur des Dampfes dagegen ist ebenfalls niedriger, als die der kochenden Flüssigkeit. Die Dämpfe beider Flüssigkeiten steigen mit einander auf, so lange von der flüchtigeren Flüssigkeit noch irgend ein Theil tropfbar vorhanden ist. Sobald aber dieses nicht mehr der Fall ist, so hört die Verdampfung auf, bis die weniger flüchtige Flüssigkeit eine ihrem Kochpunkt entsprechende Temperatur angenommen hat. Wenn die flüchtigere Flüssigkeit sich oben befindet, so kocht sie, als wenn sie sich allein in dem Gefässe befände.

Bei Flüssigkeiten, welche sich chemisch verbinden, ändert sich der Kochpunkt beständig, je nachdem nämlich das Verhältniss der vorhandenen Quantitäten der Flüssigkeiten sich ändert. Bei Salzlösungen im Wasser ist dagegen nach *Rudberg* die Temperatur des Dampfes stets der des kochenden reinen Wassers gleich, so verschieden auch die Siedhitze der Lösung sein mag.

Beim Kochen von Flüssigkeiten, welche über einander gelagert sind, entsteht durch den Druck der obern Flüssigkeit auf die untere ein heftiges Stossen, indem sich die Dampfblasen noch schwerer, als beim gewöhnlichen Kochen entwickeln; aber auch in diesem Falle bewirkt ein Platin- oder Eisendraht, oder ein Stückchen Zink, ein ruhiges Sieden, ohne heftiges Aufwallen. Am besten ist die Anwendung von Eisenfeile; doch kommt schwach siedendes Wasser nach *Chadbourne* schon in stärkeres Sieden, wenn man recht trocknes, gepulvertes Eis hineinwirft.

Manche Siedpunkte stehen mit der chemischen Zusammensetzung der Flüssigkeiten in einem sehr wichtigen Zusammenhang. So findet nach *H. Kopp* bei folgenden Alkohol-, Säure- und Aether-Arten das Gesetz statt, dass den auf einander folgenden Verbindungen stets die Siedpunkt-Differenz von 19° entspricht:

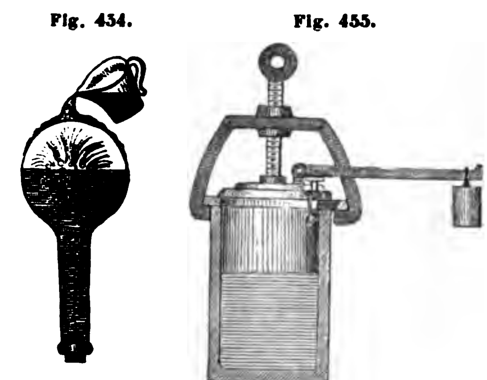
Alkohol.	*Siedp.*	*Säure.*	*Siedp.*	*Aether.*	*Siedp.*
$C_2H_4O_2$	59°	$C_2H_2O_4$	99°	$C_4H_4O_4$	36°
$C_4H_6O_2$	78°	$C_4H_4O_4$	118°	$C_6H_6O_4$	55°
$C_6H_8O_2$	97°	$C_6H_6O_4$	137°	$C_8H_8O_4$	74°

Aus diesen und ähnlichen Fällen folgert er, dass bei homologen Verbindungen, welche derselben Reihe angehören, im Allgemeinen die Siedpunkt-Differenzen der Zusammensetzungs-Differenz proportional sein können.

§. 337.

Die in einer siedenden Flüssigkeit aufsteigenden Blasen müssen nicht nur den Druck der Flüssigkeit, sondern auch den der Luft und der in ihr befindlichen Wasserdünste überwinden, um sich erheben zu können. Desshalb wird eine Flüssigkeit um so schwerer in's Sieden gerathen, je höher die Flüssigkeitssäule und je höher der Barometerstand ist. Im luftleeren Raume, aus welchem auch das gebildete Wassergas sogleich durch Pumpen wieder weggenommen wird, siedet daher das Wasser schon bei jeder Temperatur, wenn es nur wärmer ist, als die darüber befindliche Schichte Wassergas, wie man sowohl mit Hilfe der Luftpumpe als auch durch den *Pulshammer* zeigen kann. Der letztere besteht aus zwei Kugeln von Glas, die durch eine Röhre verbunden sind und etwas Wasser enthalten. Die Luft ist durch das Sieden desselben ausgetrieben; desshalb kommt das Wasser in der Kugel, welche man in der Hand hält, schon durch die Wärme der letztern in's Kochen. Macht man eine Glas-Phiole, Fig. 454, dadurch luftleer, dass man das darin befindliche Wasser eine Zeitlang siedet, und verschliesst man sie luftdicht, so steigen jedesmal Blasen in ihr auf, wenn man sie in umgekehrter Lage mit kaltem Wasser begiesst, weil das gebildete Wassergas an den Wänden sogleich wieder verdichtet wird. Am schönsten wird dieser Versuch, wenn man diese Phiole in der Lage, Fig. 454, ganz in Wasser von 0° taucht. Hält man dagegen in fest verschlossenen Gefässen den durch Wärme sich bildenden Wasserdampf zurück, so wird auch die Temperatur des Wassers bedeutend erhöht. Hierauf beruht der *Papinische Topf*, Fig. 455, welcher ein fest verschliessbares Metallgefäss ist, an dem sich zur Vorsicht ein Ventil *r* befindet, um den allzu elastischen Dämpfen einen Ausgang zu gestatten. Man kann damit aus den Knochen einen grössern Theil der auflösbaren Substanz erhalten als sonst, wenn der Druck der Dämpfe mehrere Atmosphären beträgt. Wird das Ventil geöffnet, so strömen die Dämpfe mit grosser Heftigkeit aus, und die Temperatur des Wassers sinkt wieder auf 100°.

Fig. 454. Fig. 455.



Der Papinische Topf ist in neuerer Zeit wieder mehr in Anwendung gekommen, weil man den Bügel, durch welchen die Schraube geht, die den Deckel andrückt, von solcher Elastizität macht, dass der Deckel sich ringsum öffnet, wenn der Dampf eine gefährliche Spannung erreicht. Die Speisen werden darin viel schneller fertig und in manchen Fällen viel schmackhafter.

Auf die leichtere Verdunstung des Wassers im luftverdünnten Raume gründet sich die Anwendung der Luftpumpe bei Abdampfung solcher Auflösungen, die entweder keinen hohen Hitzgrad ertragen oder wohlfeiler im luftverdünnten Raume abgedampft werden. Bei dem *Howard*'schen Apparat wird z. B. das Klärsel des Zuckers im luftverdünnten Raum, der durch Dampf hervorgebracht ist, abgedampft.

§. 338.

Die Wärmemenge, welche beim Entstehen von Dünsten gebunden wird, ist eben so gross als die, welche beim Sieden gebunden wird. Da nun nach §. 130, 16, die Verdunstung des Wassers bei jeder Temperatur erfolgt, so muss dem nicht verdunstenden Theile oder seiner nächsten Umgebung die zur Bildung der Dünste nöthige Wärme entzogen werden. Daher entsteht bei jeder Verdunstung Kälte, und besonders, wenn sie sehr schnell geschieht. Hierauf beruht die im §. 130, Versuch 17, beschriebene Eisbereitung unter der Luftpumpe. Auch eine Thermometer-Kugel kann man dadurch gefrieren machen, dass man sie mit Baumwolle umwickelt, dann in Aether oder besser in schweflige Säure taucht, und schnell in der Luft schwingt oder die Luft umher rasch verdünnt, und dieses mehrmals wiederholt.

Auf die durch Verdunstung entstehende Kälte gründet sich *Wollastone's Kryophorus*. Er besteht, wie der Pulshammer, aus zwei luftleeren Kugeln, die durch eine Glasröhre verbunden sind, und deren eine etwas Wasser enthält. Bringt man die leere Kugel in eine Mischung von Eis und Salmiak, so gefriert das Wasser in der andern, weil in der ersten die Wasserdämpfe immer schnell verdichtet werden, und indem sich andere bilden, diese dem Wasser die Wärme entziehen. Leichter gelingt der Versuch auf folgende Art, Fig. 456. Eine Glasröhre, die durch Kochen des zur Hälfte sie anfüllenden Wassers luftleer gemacht und dann zugeschlossen ist, wird oben durch eine, in dem sie umgebenden Ring enthaltene Kältemischung erkältet und gefriert unten. Auf dem Obigen beruht auch die Eisbereitung in Ostindien, die Abkühlung des Wassers in porösen Krügen, Alkarazas, welche man dem Luftzuge aussetzt, und endlich die starke Abkühlung durch feuchten Wind und Regen. Statt der *Harrison*'schen Eisbereitung durch schnelle Verdunstung von Schwefeläther, wendet *Carré* folgendes, sehr öconomische und praktische Verfahren beim Privatgebrauch an: die verzinnten eisernen, starken Cylinder A und B. Fig. 457, sind durch eine Röhre verbunden, indem F nur eine Fortsetzung von B ist. Das Gefäss B ist bis zu $^3/_4$ mit einer gesättigten Ammoniakflüssigkeit angefüllt und nachdem alle Luft aus A und B entfernt, hermetisch verschlossen. Stellt man A in kaltes Wasser und erhitzt man B durch Kohlenfeuer, bis das in eine Vertiefung hinabgehende Thermometer t, 130° angibt, so verdichtet sich das in B verdampfende Ammoniakgas bei einem Druck von 5-6 Atmosphären in A. Entfernt man nun B von dem Feuer und stellt man es in einen Kübel mit kaltem Wasser, so absorbirt das in B enthaltene Wasser das Ammoniakgas wieder. Die dadurch bewirkte rasche Verdunstung des Ammoniaks in A erzeugt dann in A eine solche Kälte, dass das mit ihr in Berührung stehende Wasser gefriert. C ist ein dünnes Blechgefäss, welches über A geschoben wird und etwas Wasser und Weingeist enthält, damit das Eis nicht an A sondern an C anfriert. E ein Becher mit einer Schraube, durch die A fest verschlossen wird. Die Maschine, die *Carré* für Eisbereitung im Grossen construirt hat, beruht auf demselben Princip. Auf dem Entstehen des Schweisses und der durch sein Verdunsten entstehenden Abkühlung beruht zum Theil die Gleichförmigkeit der Temperatur des menschlichen Körpers, welche in allen Klimaten 37° beträgt; ferner die Möglichkeit, es in sehr erhitzten Räumen auszuhalten, wie *Banks*, *Blagden* und *Solander* bei mehr als 120°. Hieher gehören auch *die Seite 141* beschriebenen Versuche, um die höchsten Kältegrade durch Verdunsten

Fig. 456.

Fig. 457.

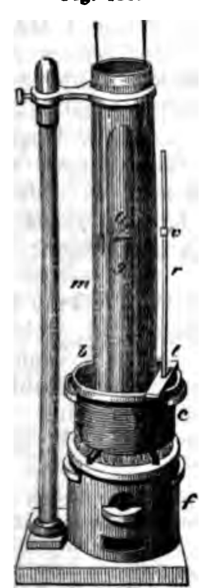
von flüssiger Kohlensäure und Stickstoffoxydulgas mit Schwefelkohlenstoff hervorzubringen, welche beweisen, dass auch ein Körper, dessen Temperatur 140° unter Null beträgt, noch erkältet werden kann; und dass also die Bestimmung des absoluten Nullpunktes der Wärme noch zu keinem Resultate geführt hat. Nach theoretischen Bestimmungen wäre derselbe da, wo $1 + 0{,}00366 \,.\, t = 0$ wird, also $t = \frac{-1}{0{,}00366}$ ist, folglich bei — 273°.

§. 339.

Ueber die Eigenschaften der Dünste und Dämpfe ist bereits früher in den §§. 141 und 143 das dorthin Gehörige gelehrt worden. Die Aenderungen, welche sie hinsichtlich der Elastizität und Dichte vermöge der Wärme erfahren, gehören dagegen hieher.

Um die Dichtigkeit der Dämpfe zu finden, verfertigte *Gay-Lussac* kleine Glaskugeln mit sehr dünnen Wänden, die in feine Spitzen ausgezogen waren. Diese wog er zuerst, füllte sie dann mit der Flüssigkeit zum Theil an, und schmolz sie zu, darauf suchte er das Gewicht der eingeschlossenen Flüssigkeit, und daraus nach §. 108 ihr Volumen. Er nahm hierauf eine lange und calibrirte Glasglocke *ag*, Fig. 458, füllte sie mit Quecksilber an, und stürzte sie in eine Schale von Eisen *c* um, die zum Theil mit Quecksilber gefüllt war. Nachdem nun eine jener Kugeln in diese Glocke gebracht war, umgab er letztere mit einer längern cylindrischen Glashülle *m*, füllte diese mit Wasser oder Oel an, und stellte den ganzen Apparat auf einen Ofen *f*. Durch Erhitzung wurde nun im Innern die kleine Kugel zersprengt, und es bildeten sich Dämpfe, welche die Temperatur des heissen Oeles annehmen mussten. Weil der über dem Quecksilber befindliche Raum gerade mit Dämpfen gesättigt sein muss, so wurde jedesmal die Erhitzung so lange fortgesetzt, bis der letzte Tropfen Flüssigkeit in *a* verdunstet war. Nun zeichnete er den Barometerstand auf, mass den Raum, welchen die Dämpfe einnahmen, und die Höhe der Quecksilbersäule *a* mittelst des Maassstabs *rt*, der bis zur Oberfläche des Quecksilbers hinabreichte. Diese Quecksilbersäule musste um die Expansivkraft der Dämpfe geringer sein als der Barometerstand. War nun der Raum, welchen der Dampf einnahm, gleich 40 Kubikzoll, und das Volumen der hineingebrachten Flüssigkeit = $^1/_{10}$ Kubikzoll, so muss bei der im Wasser oder Oel beobachteten Temperatur die Dichte des Dampfes $\frac{1}{400}$ von der Dichte der Flüssigkeit gewesen sein. Auf diese Art fand man das spezifische Gewicht des Wasserdampfes bei 100° C. = 0,6225, von der Dichte der Luft bei 100° und bei gleichem Barometerstand. *Ueberhaupt aber ist bei jeder Temperatur die Dichte des Wasserdampfs, wenn der Raum damit gesättigt ist, nahezu gleich* 0,6225 *oder ungefähr $^5/_8$ von der Dichte der Luft bei gleicher Temperatur und gleicher Expansivkraft.* Die Dichte des Wasserstoffgases bei 0° und 76 Centim.

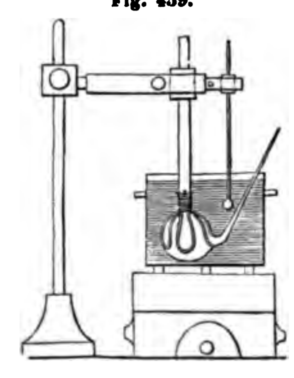
Fig. 458.



Druck ist 0,069 und die des Sauerstoffgases = 1,105 von der Dichte der Luft bei gleicher Temperatur und Expansivkraft. Nun geben die 2 Volumen Wasserstoffgas mit 1 Volumen Sauerstoffgas, die zur Bildung von Wasser nöthig sind, statt 3 Volumen nur 2 Volumen Wasserdampf von gleicher Temperatur und Spannkraft. Man kann also annehmen, dass im Wasserdampf das Wasserstoffgas die doppelte Dichte 2 . 0,069 hat, oder dass 1 Volumen Wasserstoff von der Dichte 0,138 und 1 Volumen Sauerstoff von der Dichte 1,105, 2 Volumen Wasserdampf von der Dichte $\frac{0,138 + 1,105}{2} = 0,622$ geben. Da diese Zahl mit der obigen übereinstimmt und bei jeder andern Temperatur und Spannkraft das Verhältniss der Dichten der Gase und des Wasserdampfes dasselbe bleibt, so ist nicht zu zweifeln, dass also im Wasserdampf der Wasserstoff die doppelte Dichte angenommen hat. Eben so einfache Verhältnisse zeigen die Dichten anderer Dämpfe zu denen ihrer Bestandtheile. So haben die organischen Verbindungen immer ein kleineres Volumen, als die Summe der Volumina ihrer Atome in Gasgestalt ist. Es ist also bei der Verbindung eine Verdichtung eingetreten. Nur in wenigen Fällen machen sämmtliche Volumina nur 1 Vol. aus, wie z. B. beim Cyangas, wo 2 Maass Kohlenstoffdampf und 1 Maass Stickgas nur 1 Maass Cyangas geben. *Meistens bilden sämmtliche Maasse der gasförmigen Elemente zusammen nur 2 Maass.* So geben z. B. 2 Maass Kohlenstoffdampf und 4 Maass Wasserstoffgas nur 2 Maass Sumpfgas. 20 Maass Kohlenstoffdampf und 16 Maass Wasserstoffgas geben 2 Maass Terpentinöldampf. 4 Maass Kohlenstoffdampf, 6 Maass Wasserstoffgas und 1 Maass Sauerstoffgas geben 2 Maass Weingeistdampf u. s. w. Nimmt man aber das Atomgewicht des Wasserstoffgases nur halb so gross an, wie es früher allgemein geschah (vgl. §. 38), so muss man sagen: die Elemente bilden zusammen 4 Maass organisches Gas.

Cagniard Latour hat gefunden, dass Alkohol bei 259° Wärme und einem Druck von 119 Atmosphären in Dampf verwandelt wird, welcher den dreifachen Raum einnimmt. Aether nimmt nach seinen Versuchen bei 200° und einem Druck von 37 Atm. den doppelten, Schwefelkohlenstoff bei 275° und 78 Atm. gleichfalls den doppelten Raum ein. Die Dichte und Spannkraft dieser Dämpfe wachsen also ebenfalls nicht nach dem *Mariotte*'schen Gesetz.

Fig. 459.



Gewöhnlich bestimmt man jetzt die Dichte der Dämpfe nach der Methode von *Dumas*: Man nimmt ein kugelförmiges Gefäss von Glas, welches an eine Röhre geblasen ist, die man, wie in Fig. 459, in eine feine Spitze auszieht. Durch diese Röhre bringt man eine hinreichende Menge der zu untersuchenden Flüssigkeit in diese Glaskugel. Hierauf taucht man sie mittelst eines Drahtgeflechtes, das, wie die Abbildung zeigt, an einen Glasstab befestigt ist, in ein Bad von Oel oder Chlorzink, und erhitzt dieses bis zum Sieden der in der Kugel befindlichen Flüssigkeit. Die Dämpfe derselben entweichen mit Luft vermischt durch die Röhre und bewirken bei längerem Sieden, dass die Kugel keine Luft mehr enthält. Sobald nun auch keine Dämpfe mehr entweichen, schmilzt man die Spitze zu, und bestimmt das Gewicht des im Gefäss enthaltenen Dampfes. Ist z. B. *b* das beobachtete Gewicht des mit Luft ge-

füllten Ballons, d das Gewicht der durch ihn verdrängten Luft und c das der Luft, die er enthält, so ist das Gewicht des Glases

$$= b + d - c.$$

Nach eingetretener völliger Verdampfung des Körpers und Entfernung aller Luft, sei das Gewicht des zusammengeschmolzenen und abgetrockneten Ballons $= b'$ und c' das Gewicht des Dampfes, so ist das des Glases

$$= b' + d - c',$$

folglich $$b + d - c = b' + d - c'.$$ Daher

$$c' = b' - b + c.$$

Das Volumen des Dampfes war aber, wenn der Ausdehnungs-Coëfficient des Glases $= \alpha$ und die Temperatur beim Wägen t, beim Sieden aber t' gewesen ist, und das Volumen des Ballons bei t Grad $= v$ ist, $v\,[1 + \alpha\,(t' - t)]$, folglich ist die Dichte des Dampfes

$$s = \frac{c}{v\,(1 + \alpha\,(t' - t))}$$

bei derjenigen Temperatur und dem Luftdruck, bei welchen er in's Sieden kam.

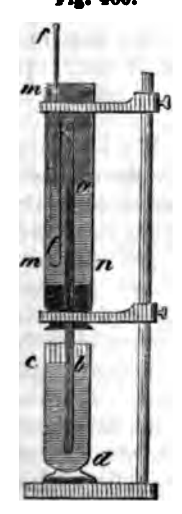
In dem Nachfolgenden ist die Dichte einiger Dämpfe angegeben, wobei die Dichte der Luft bei 0° und 76 Centim. zur Einheit angenommen ist und die Temperatur ihre Siedhitze beim Normalbarometerstand etwas übersteigt:

Alkohol	1,6138	Terpentinöl	5,0130
Schwefeläther	2,5680	Quecksilber	6,976
Schwefelkohlenstoff	2,6447	Jod	8,716

§. 340.

Wenn Wasserdämpfe erwärmt werden, und mit der Flüssigkeit, aus der sie entstanden sind, *nicht mehr in Verbindung stehen*, so dehnen sie sich nach dem im §. 332 angegebenen Gesetze aus. Stehen sie dagegen noch in Verbindung damit, und ist der Raum, welchen sie einnehmen, bereits von ihnen gesättigt, so bildet sich bei Erhöhung der Temperatur eine neue Menge Dampf. Die Elastizität dieses Dampfes nimmt also nicht nur wegen der Wärme zu, sondern auch darum, weil er dichter wird. Bei abnehmender Temperatur vermindert sich die Spannkraft aus den entgegengesetzten Ursachen, und es schlägt sich ein Theil des Dampfes als tropfbare Flüssigkeit nieder. Da nun der Druck der in der atmosphärischen Luft enthaltenen Wasserdünste nach dem im vorigen §. erwähnten Gesetze, bei eingetretener Sättigung sich nur nach der Temperatur richtet, so ist derselbe noch für die verschiedenen Thermometerstände auszumitteln. Zu diesem Zwecke nahm *Dalton* eine Barometerröhre ab, Fig. 460, und umgab sie mit einer andern weitern Röhre mn, die unten mit einem Korkpfropf verschlossen war, durch welchen die erste Röhre wasserdicht hindurchging. Die engere Röhre ab wurde nun mit Quecksilber beinahe angefüllt, und in den übrigen kleinen Raum ein wenig Wasser gebracht. Hierauf wurde sie mit dem Finger genau verschlossen, so dass keine Luft eindringen konnte, und mit dem offenen Ende in das Gefäss cd gebracht, welches mit Quecksilber gefüllt war. Das Quecksilber in der Barometerröhre sank nun bis zu einer gewissen Höhe ab, welche gleich war dem Drucke der Atmosphäre, weniger dem Drucke, welchen die Wasserdünste in dem luftleeren Raume des Barometers ausübten. Durch warmes Wasser, welches man in die weite Röhre mn goss, und dessen

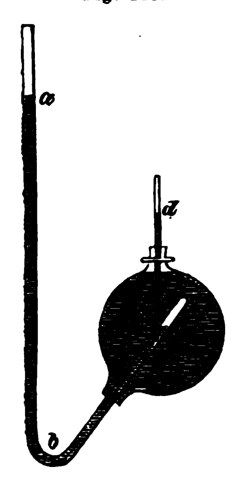
Fig. 460.



Temperatur durch ein Thermometer *ff* mit langem cylindrischem Gefässe angegeben wurde, konnte man nun die Expansivkraft jener Dünste für jede Temperatur bestimmen, bis die Quecksilbersäule in dem Barometer mit dem Quecksilber in dem Gefäss *cd* gleich hoch stand.

Für höhere Temperaturen hat *Ure* den in Fig. 461 abgebildeten Apparat angegeben. Die gekrümmte Barometerröhre *abc* ist zum Theil mit Quecksilber gefüllt, und enthält in dem kürzern verschlossenen Ende bei *c* eine kleine Menge der zu verdunstenden Flüssigkeit. Dieser Theil der Röhre ist mit einem Ballon umgeben, welcher Wasser oder Oel enthält, und durch eine Weingeistlampe erhitzt wird. Das Thermometer *d* gibt die Temperatur der Flüssigkeit und also auch die des Dampfes in *c* an, und die Quecksilbersäule in der Barometerröhre zeigt die Expansivkraft des Dampfes, indem sie um so höher steigt, je elastischer der letztere ist. Für Temperaturen unter 0° fand *Gay-Lussac* die Elastizität der Wasserdämpfe, indem er die Barometerröhre am obern Ende so umbog, dass dieses in ein Gefäss mit einer Kältemischung hinabreichte. Indem nun die Dünste die Temperatur dieser Mischung annahmen, stieg oder sank die Quecksilbersäule bei Ab- oder Zunahme ihrer Elastizität. Um sein erstes Verfahren zu prüfen, brachte *Dalton* Wasser von einer bestimmten Temperatur unter den Recipienten der Luftpumpe.

Fig. 461.



Dieses Wasser muss zu sieden anfangen, wenn der Druck der Luft so weit abgenommen hat, dass die bei der statthabenden Temperatur des Wassers sich bildenden Dünste gleiche Expansivkraft damit haben. Man kann also, wenn ein Barometer den Grad der Luftverdünnung unter dem Recipienten und ein Thermometer die Temperatur des Wassers angibt, daraus die Expansivkraft dieser Dünste finden. Diese Beobachtungsweise ist aber nur dann von einiger Genauigkeit, wenn die nun entstehenden Dünste sich schnell wieder an den Wänden zu Wasser verdichten, weil sie sonst den Druck auf die Oberfläche des Wassers vermehren. *Kämtz* brachte in das Vacuum eines Barometers, welches mit einem andern vollkommen übereinstimmte, einen Tropfen Wasser, und beobachtete während längerer Zeit die beiden Barometerstände und den gleichzeitigen Thermometerstand. Der Unterschied zwischen beiden Barometerständen musste der Expansivkraft des in dem Vacuum des einen Barometers gebildeten Wasserdunstes gleich sein. Da der luftleere Raum die Temperatur der Luft annehmen musste, und mit Wasserdünsten gesättigt war, so sollte man glauben, die so gefundene Expansivkraft des Dunstes hätte mit der von *Dalton* beobachteten übereinstimmen müssen. Es findet aber zwischen diesen Beobachtungen und denen von *Dalton*, *Magnus* und Andern ein Unterschied statt. *Regnault* prüfte desshalb nicht nur diese verschiedenen Methoden, sondern er verbesserte sie auch in solchem Grade, dass seine Resultate als die genauesten angesehen werden müssen. Die nebenstehende Tabelle enthält dieselben, und es bezeichnet darin *t* die Temperatur des gesättigten

Wasserdampfs in Centesimal-Graden nach dem Luftthermometer, e die Höhe der Quecksilbersäule, welche der Spannkraft desselben das Gleichgewicht hält, und D die der obigen Temperatur und Expansivkraft entsprechende Dichte des Wasserdampfs.

t Temperatur in Gr. C.	e Spannung in Millim.	D Dichte	t Temperatur in Gr. C.	e Spannung in Millim.	D Dichte.
— 20	0,927	0,00000106	30	31,548	0,00003023
— 15	1,400	0,00000139	31	33,406	0,00003191
— 10	2,093	0,00000230	32	35,359	0,00003366
— 5	3,113	0,00000336	33	37,411	0,00003551
0	4,600	0,00000489	34	39,565	0,00003743
1	4,940	0,00000523	35	41,827	0,00003951
2	5,302	0,00000559	40	54,906	0,00005095
3	5,687	0,00000598	50	91,982	0,00008272
4	6,097	0,00000638	60	148,791	0,00012980
5	6,534	0,00000681	70	233,093	0,00019741
6	6.998	0,00000727	80	354,280	0,00029088
7	7,492	0,00000767	90	525,450	0,00042052
8	8,017	0,00000807	100	760,000	0,00059192
9	8,574	0,00000882	100	1 A	0,00059192
10	9,165	0,00000938	111,7	1½ A	0,0008602
11	9,792	0,00000999	120,6	2 A	0,0011202
12	10,457	0,00001062	127,8	2½ A	0,0013743
13	11,162	0,00001131	133,9	3 A	0,0016232
14	11,908	0,00001204	139,2	3½ A	0,0018689
15	12,699	0,00001281	144	4 A	0,0021116
16	13,536	0,00001359	148,3	4½ A	0,0023547
17	14,421	0,00001443	152,2	5 A	0,0025918
18	15,357	0,00001514	155,9	5½ A	0,0028265
19	16,346	0,00001626	159,2	6 A	0,0030596
20	17,391	0,00001723	161,5	6½ A	0,0032896
21	18,495	0,00001826	165,3	7 A	0,0035144
22	19,659	0,00001937	168,2	7½ A	0,0037470
23	20,888	0,00002050	170,8	8 A	0,0039706
24	22,184	0,00002159	175,8	9 A	0,0044177
25	23,550	0,00002295	180,3	10 A	0,0048574
26	24,988	0,00002427	213	20 A	0,0090140
27	25,505	0,00002569	236,2	30 A	0,013011
28	28,101	0,00002710	252,5	40 A	0,016770
29	29,781	0,00002863	265,9	50 A	0,020489

Die Dichte des Wasserdampfs ist in dieser Tabelle nach der im §. 339 angeführten Beobachtung berechnet, wornach sie stets 0,6225 von der Dichte der Luft bei gleicher Temperatur und gleicher Expansivkraft sein soll. Da nun die Dichte der Luft bei 100° Wärme und 760 Millimeter Expansivkraft $= \frac{1}{770}$ von der des Wassers ist, und sich bei t^0 C Wärme nach §. 332 in dem Raum $1 + 0{,}00366t$ ausdehnt, so ist ihre Dichte bei t^0 noch $\frac{1}{770\,(1 + 0{,}00366t)}$. Bei H Millim. Expansivkraft und t^0 Wärme ist sie also $\frac{H}{770\,.\,760\,(1 + 0{,}00366t)}$, und die des Dampfes

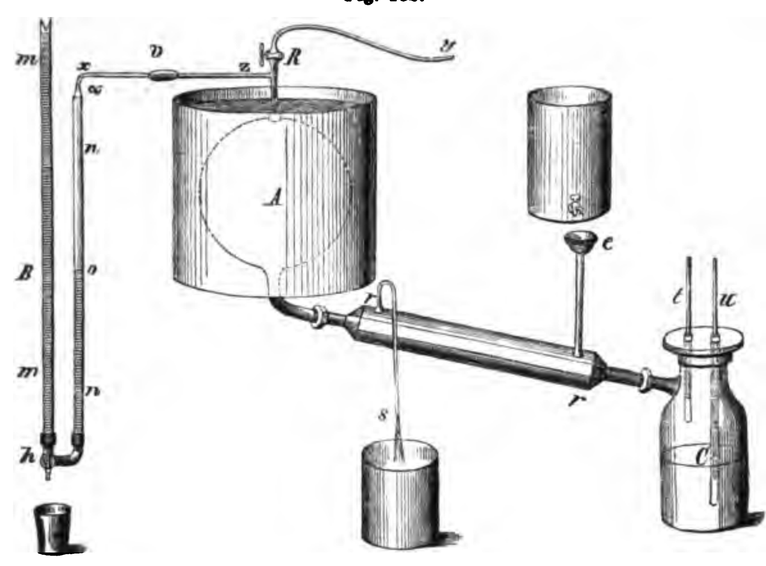
ist 0,6225 davon oder $D = \frac{0{,}6225\,H}{770\,.\,760\,(1 + 0{,}00366\,t)}$. Diese einfache Beziehung gilt jedoch nicht vollkommen genau, weil nach §. 332 der Coëfficient 0,00366 bei höhern Pressungen sich etwas verändert.

In dem letzten Theil der Tabelle ist die Expansivkraft nur in Atmosphären angegeben; darin bedeutet also 1 Atm. 760 Millimeter, 2 Atm. 1520 u. s. w. Bis zu 20 Atmosphären sind die Untersuchungen von *Regnault*, und für höhere Pressungen die älteren von *Arago* und *Dulong* zu Grunde gelegt, weil erstere nicht weiter fortgesetzt wurden. Aus der Dichte ergibt sich die Menge des Wassers, die in 1 Cub.-Meter Dampf enthalten ist. Da nämlich 1 Cub.-Meter = 1000000 Cub.-Centimeter. und der Dampf von 21^0 z. B. 0,000018 Dichte hat, so sind 18 Cub.-Centimeter oder 18 Gr. Wasser in den Raum von 1 Cub.-Meter vertheilt, oder jeder Cub.-Meter Dampf von 21^0 enthält 18 Gr. Wasser. Eben so enthält jeder Cub.-Meter von 120,6^0 oder von 2 Atmosphären 1120 Gr. Wasser u. s. w.

Die Spannkraft und Dichte des Wasserdampfes erleidet Aenderungen, wenn das Wasser fremde Substanzen aufgelöst oder beigemengt enthält. *Dalton* nahm an, dass, wenn diese Substanzen selbst zu Dämpfen werden, die Spannkräfte sich summiren. Dies ist nach den Untersuchungen von *Magnus* und *Regnault* jedoch nur dann der Fall, wenn sie sich chemisch mit den Wasserdämpfen nicht verbinden. In diesem Fall vermindern sie die Spannkraft des Wasserdampfs, wie *Gay-Lussac*, *Princep* und *v. Babo* an Salzlösungen und dergl. gezeigt haben. Die *Verminderung der Spannkraft* ist nach *Wüllner der Menge des gelösten Salzes proportional.* Der Grund davon ist die Anziehung der Salztheilchen auf die Wasseratome und selbst auf den Wasserdampf, wie aus den Versuchen von *Magnus* folgt. Diese Veränderungen sind jedoch bei verschiedenen Temperaturen verschieden und wachsen rascher, als die Temperaturzunahme.

Der in Fig. 462 abgebildete Apparat stellt eines der Mittel vor, durch welche *Regnault* obige Resultate gefunden hat. Er gibt zugleich einen Begriff, worauf hauptsächlich die bessere Methode zur Bestimmung der Expansivkraft von Dämpfen aller Art beruht. *A* ist ein Ballon von 20 bis 24 Liter Inhalt. *B* ein manometrischer Apparat. *C* ein starkes Kochgefäss. Der Ballon *A* befindet sich in einem Gefäss, welches mit Wasser von der Temperatur der Luft gefüllt wird. Er communicirt mit *C* durch eine Röhre, welche von Wasser umgeben ist, das durch Eingiessen bei *e* und Ausfliessen bei *s* beständig auf gleicher Temperatur erhalten wird. Die Dämpfe, welche sich in *C* bilden, werden dadurch verdichtet und fliessen nach *C* zurück. Dieses Gefäss ist oben durch eine mit Schrauben befestigte Platte verschlossen. In diese sind zwei, unten verschlossene Glasröhren luftdicht eingelassen. welche etwas Quecksilber enthalten. In dieses werden die zwei Thermometer *t* und *u* eingesenkt, damit das eine die Temperatur der Dämpfe, das andere die des Wassers in *C* angibt. Der Ballon *A* steht durch eine Capillarröhre *xz* mit dem Manometer *B* und durch das Kupferrohr *Ry* mit einer Luftpumpe oder Compressionspumpe in Verbindung. Das Manometer *B* besteht aus zwei gleichweiten Glasröhren *mm* und *nn*, die unten durch ein eisernes Rohr mit einem Hahn *h* verbunden sind und Quecksilber enthalten. Die Länge der Röhre *nn* beträgt ohngefähr 50 Centim., die von *mm* 3—5 Meter. Soll nun für eine höhere Temperatur von z. B. 140 bis 150^0 die Spannkraft der Dämpfe bestimmt werden, so comprimirt man die Luft in *A* und *C* durch eine Compressionspumpe, die mittelst der Röhre *Ry* damit in Verbindung steht; während man in dem Schenkel *mm* beständig Quecksilber nachgiesst. Dies wird so lange fortgesetzt, bis das Quecksilber in *mm* ohngefähr dreimal höher über der Quecksilberkuppe 0 in der Röhre *nn* steht, als in dem Barometer, weil man schon

Fig. 462.



weiss, dass bei 140 bis 150° der Druck der Dämpfe ohngefähr 4 Atm. beträgt. Nun wird der Hahn *R* geschlossen und dadurch die Verbindung mit der Compressionspumpe aufgehoben. Das Gefäss *C* steht in oder auf einem kleinen Ofen, der so lange geheizt wird, bis das Wasser in *C* siedet. Dieses erkennt man daran, dass die Thermometer *t* und *u* nicht mehr steigen: indem alle neue Wärme zur Bildung von Dämpfen verwendet wird, welche sie wieder an das Wasser in der Röhre *rr* abgeben. Die Schwankungen des Quecksilbers, welche in der Röhre *nn* bei diesem Gleichgewichtszustand entstehen, erschweren die Beobachtung, und desshalb füllt man in *mm* nun so viel Quecksilber nach, bis es in *nn* die feine Linie *α* berührt, und misst die Höhe *h* des Quecksilbers in *mm* über dieser Marke. Die Spannkraft der Dämpfe in *C* wird alsdann durch den Barometerstand *b* und die Höhe *h* angegeben, oder es ist die der Temperatur in *C* entsprechende Expansivkraft $e = b + h$. Bei geringeren Temperaturen als 100° wird das Manometer *B* aus der Fassung *v* frei gemacht und dafür eine Barometerröhre in *v* eingekittet, die unten in ein Gefäss mit Quecksilber sich mündet. Die Luft in *A* wird mittelst einer Luftpumpe, die damit durch die Röhre *Ry* verbunden ist, verdünnt, und nun die Spannkraft und Temperatur der Dämpfe aus den Beobachtungen leicht gefunden.

Den Zusammenhang zwischen der Temperatur *t* und Expansivkraft *e* des gesättigten Wasserdampfs hat man auf verschiedene Weise durch Formeln darzustellen gesucht. Für Temperaturen zwischen 0 und 100° passt nach *Regnault* zu seinen Beobachtungen am besten der Ausdruck

$$\log e = a + b\alpha^t - c\beta^t,$$

worin $\log \alpha = 0{,}006865036$, $\log \beta = 0{,}9067249 - 1$, $\log b = 0{,}1340339 - 2$, log $c = 0{,}6116485$ und $a = 4{,}7384380$ ist. Für Temperaturen über 100° passt ziemlich gut die Formel von *Arago* und *Dulong*: $e = (1 + 0{,}007153\,[t - 100])^5$. Eine von C. *Holtzmann* theoretisch entwickelte Formel, wonach $e = 0{,}656 + \frac{7{,}4808t}{236{,}22 + t}$, stimmt ebenfalls ziemlich genau mit den obigen Beobachtungen überein. Aus diesen Untersuchungen sieht man, wie rasch bei höhern Temperaturen die Expansivkraft der Dämpfe zunimmt. Dieses schnelle Wachsen der Expansivkraft hat zwei Ursachen: 1) die grössere Dichte der gesättigten Dämpfe bei höherer Temperatur, und 2) die grössere Ausdehnsamkeit vermöge der Wärmezunahme. Tief unter der Oberfläche der Erde müssen darum die durch die Erdwärme aus dem eindringenden Wasser sich bildenden Dämpfe eine ungeheure Spannkraft erreichen und können die Ursache von Erschütterungen und vulkanischen Ausbrüchen werden.

Auf der grossen Elastizität heisser Dämpfe beruht das Springen kleiner Glaskügelchen, die einen Wassertropfen enthalten, im Feuer; das Dampfgeschütz von *Perkins;* die rotirende Kugel des *Hero;* ferner die Wirkung der Aeolipile, die man sonst anwendete, um eine heftige Flamme hervorzubringen, und der Löthlampe. Sie besteht aus einem metallnen Kesselchen mit einem engen Rohre. Indem nun Weingeist darin erhitzt wird, strömen die Dämpfe desselben mit Heftigkeit aus der Röhre, und verstärken die Flamme einer Oëllampe, wenn sie durchgeleitet werden. Wird der in Fig, 170, S. 135 abgebildete Heronsball erwärmt, so muss das Wasser darin, auch ohne eine andere Vermehrung des Luftdrucks, zu springen anfangen.

Die Ausdehnung der übrigen Dämpfe durch die Wärme ist im Allgemeinen dem im §. 330 angegebenen Gesetze unterworfen. Ausnahmen machen z. B. Kohlensäuredämpfe, welche sich zwischen 0° und 30° um das Dreifache der Luft ausdehnen; Salzätherdämpfe und schweflige Säure, deren Ausdehnungs-Coëfficient bei 130° gleich 0,00503 und 0,00957 ist.

Ueber die Spannkraft der, mit der Flüssigkeit, aus der sie entstanden sind, noch in Berührung stehenden Dämpfe anderer Materien hat *Regnault* viele Messungen gemacht und gefunden, dass der Druck gesättigter Dämpfe von folgenden Stoffen bei den daneben stehenden Temperaturen, in Millimetern ausgedrückt, nachstehenden Zahlen entspricht:

	Alkohol.	*Aether.*	*Schwefelkohlenst.*	*Chloroform.*	*Quecksilber.*
— 20	3,3	67,5	43,5	—	—
0	12,8	183,3	131	—	0,020
10	24	286,5	203	130	0,026
20	44	433	301	160	0,037
50	220	1271	857	530	0,112
80	812	3024	2033	1204	0,353
100	1694	4950	3329	2426	0,745
110	2361	6208	4167	3106	1,073
150	7258	—		7226	4,266

Vom Quecksilber ist ferner die Spannkraft:

bei 200°	= 19,9 Millim.,	bei 360°	= 797,7 Millim.
250	= 75,75	400	= 1548
300	= 242,15	450	= 3384
350	= 663,18	500	= 6520

Nach *Magnus* besitzen die Wasserdämpfe aus Salzlösungen eine höhere Temperatur als 100°.

§. 341.

Die Dichte der Wasserdämpfe wächst mit der Elastizität derselben; jedoch in einem viel geringern Verhältnisse, denn es ist z. B. nach der Tabelle im vorigen §. die Dichte des Wasserdampfs bei 1 Atmosphäre Druck und 100° C. Wärme = 0,0005919, und bei 2 Atm. Druck und 120,6 Wärme = 0,0011202. Während also die Expansivkraft in dem Verhältniss von 1 zu 2 zunimmt, wächst die Dichte nur in dem Verhältniss 5919 zu 11202 oder von 1 : 1,89.

Weil die Dichte des Wasserdampfes von 100° gleich 0,000592 ist, so geben 592 Cub.-Centim. Wasser, 1000000 Cub.-Centim. Dampf, oder 1 Cub.-Meter; also 1 Gr. Wasser gibt 1689 Cub.-Centim. Dampf von 100°. Bei 120,6° ist die Dichte des Dampfs gleich 0,001120, also gibt 1 Gr. Wasser nur 892 Cub.-Centim. Dampf von 120,6°. Die Wärme in 1 Gr. Dampf von 120,6° ist also in einen viel kleinern Raum concentrirt als bei 1 Gr. Dampf von 100°. Man glaubte, nach den Versuchen von *Watt* und andern spätern Untersuchungen von *Pambour*, z [illegible] Annahme berechtigt zu sein, *dass stets die nämliche Wärmemenge* [illegible] *derlich sei, um aus einem Gramm Wasser von 0° ein Gramm gesät*[illegible] *Wasserdampf von irgend einer beliebigen Temperatur zu bilden;* so

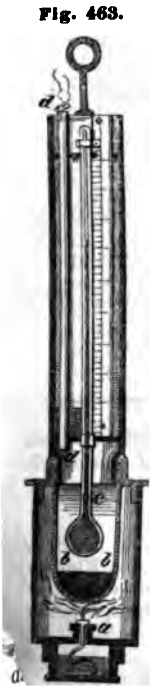
also gleich viel Wärme erforderlich wäre, um z. B. 1 Gr. gesättigten Dampf von 100° zu bilden, als nöthig ist, um 1 Gr. gesättigten Dampf von 200° darzustellen. Diese Annahme kann man auch in der Praxis gelten lassen; sie ist aber nach den neuern Untersuchungen von *Regnault* nicht genau richtig, indem z. B. zur Bildung von 1 Kil. Dampf von 100°, 637 Wärme-Einheiten, und zur Bildung von 1 Kil. Dampf von 195°, 666 Wärme-Einheiten nöthig sind; worüber später das Weitere vorkommen wird.

Wenn Luft mit Dampf bis zur Sättigung gemengt wird, so nimmt sie nach §. 142 eben so viel Dampf von der ihr zugehörigen Temperatur auf, als ein dem Luft-Volumen gleicher Raum im luftleeren Zustande in sich aufnehmen würde. Die Elastizität der Mischung ist dann der Summe der Elastizitäten von Luft und Dampf gleich. Desshalb wird der Raum, den die Luft einnimmt, sich vergrössern, wenn, nach Aufnahme des Wasserdampfes, die Mischung wieder die frühere Elastizität der Luft annimmt. Diess ist der Fall, wenn man in ein mit einer Oeffnung versehenes Gefäss so lange durch eine andere Oeffnung Dampf einströmen lässt, bis dieser darin eine gewisse Elastizität p' erlangt hat. Luft und Dampf strömen dabei vermischt mit einander aus, und wenn der äussere Luftdruck gleich p, so ist der Druck der im Gefäss zurückgebliebenen Luft nur noch $p - p'$. Je länger Dampf einströmt, desto mehr nähert sich p' dem p; desto geringer wird also der Druck, folglich auch die Menge der zurückgebliebenen Luft. Hierauf gründet sich das Verfahren, die Luft durch Dampf aus Gefässen zu treiben.

§. 342.

Aus der Temperatur der Dämpfe findet man mit Hilfe der im §. 340 enthaltenen Tabelle ihre Expansivkraft oder den Luftdruck, bei welchem sie unter dieser Temperatur sich aus dem Wasser entwickeln. Da aber das siedende Wasser an der Oberfläche dieselbe Temperatur hat als die sich entwickelnden Dämpfe, so ist darin auch die Siedhitze für die verschiedenen Barometerstände enthalten. Da man nun aus den Barometerständen die Höhe eines Ortes über einem andern nach §. 136 finden kann, so kann man auch die Beobachtung der Siedhitze zum Höhenmessen benutzen. *Wollaston* hat das erste *Thermobarometer* angegeben. Das in Fig. 463 abgebildete Instrument dieser Art besteht aus einem sehr genauen Thermometer, dessen einzelne Grade eine Länge von 2 bis 3 Centim. haben; dessen Theilung aber auch erst bei 85° anzufangen und nur bis 101° zu gehen braucht. Zu diesem Ende ist die Thermometer-Röhre bei c kugelförmig erweitert, damit sich das Quecksilber erst bei 80° über c erhebt. Jeder Grad ist in 20—100 gleiche Theile getheilt. Das Thermometer kann auf ein Kochgefäss bb von Metall geschraubt werden, in dem etwas destillirtes Wasser durch die an eine metallene Hülse geschraubte Weingeistlampe oder in sehr dünner Luft durch glühende Kohlen zum Sieden gebracht wird. Diese Hülse hat oben und unten Oeffnungen für den Luftzug. Die Dämpfe, aus dem die Kugel des Thermometers umgebenden Raum bb entweichen durch ein offenes Metallrohr dd, welches am untern Ende der Scala durch eine horizontale Metallplatte führt, die das Kochgeschirr abschliesst. Das Thermometer kann man

Fig. 463.



von dem Kochgeschirr abschrauben, um es auf Reisen sorgfältig mit Wolle umwickelt in dem Raum *bb* vor dem Zerbrechen zu bewahren. Die Vorzüge dieses Instrumentes vor dem Barometer gehen aus seiner grössern Leichtigkeit und dem Umstand hervor, dass keine Reduction wegen der Temperatur der Luft und des Quecksilbers nöthig ist. Nachtheilig ist die Unsicherheit des Siedpunkts. Gibt das Thermometer am Fuss des Berges die Siedhitze t und am Gipfel t' an, und sind die, auf unten stehender, von *Regnault* berechneter Tabelle, zu diesen Temperaturen gehörigen Barometerstände e und e', so ist nach §. 136 die Höhe des Berges $h = 18382\,(\log e - \log e')$ Meter.

Mehrere Versuche beweisen, dass diese Tabelle sehr gut mit der Erfahrung übereinstimmt.

t^0	e in Millim.	t^0	e in Millim.	t^0	e in Millim.	t^0	e in Millim.	t^0	e in Millim.
86,6	461,00	89,5	515,53	92,4	375,34	95,3	640,83	98,2	712,39
86,7	462,80	89,6	517,50	92,5	577,50	95,4	643,19	98,3	714,97
86,8	464,60	89,7	519,58	92,6	579,67	95,5	645,57	98,4	717,56
86,9	466,41	89,8	521,46	92,7	581,84	95,6	647,95	98,5	720,15
87,0	468,22	89,9	523,45	92,8	584,02	95,7	650,34	98,6	722,75
87,1	470,04	90,0	525,45	92,9	586,20	95,8	652,73	98,7	725,35
87,2	471,87	90,1	527,45	93,0	588,41	95,9	655,13	98,8	727,96
87,3	473,70	90,2	529,46	93,1	590,61	96,0	657,54	98,9	730,58
87,4	475,54	90,3	531,48	93,2	592,82	96,1	659,95	99,0	733,21
87,5	477,38	90,4	533,50	93,3	595,04	96,2	662,37	99,1	735,85
87,6	479,23	90,5	535,53	93,4	597,26	96,3	664,80	99,2	738,50
87,7	481,08	90,6	537,57	93,5	599,49	96,4	667,24	99,3	741,16
87,8	482,94	90,7	539,61	93,6	601,72	96,5	669,69	99,4	743,83
87,9	484,81	90,8	541,66	93,7	603,97	96,6	672,14	99,5	746,50
88,0	486,69	90,9	543,72	93,8	606,22	96,7	674,60	99,6	749,18
88,1	488,57	91,0	545,78	93,9	608,48	96,8	677,07	99,7	751,87
88,2	490,45	91,1	547,85	94,0	610,74	96,9	679,55	99,8	754,57
88,3	492,34	91,2	549,92	94,1	613,01	97,0	682,03	99,9	757,28
88,4	494,24	91,3	552,00	94,2	615,92	97,1	684,52	100,0	760,00
88,5	496,15	91,4	554,09	94,3	617,58	97,2	687,02	100,1	762,73
88,6	498,06	91,5	556,19	94,4	619,87	97,3	689,53	100,2	765,46
88,7	499,98	91,6	558,29	94,5	622,17	97,4	692,04	100,3	768,20
88,8	501,90	91,7	560,39	94,6	624,48	97,5	694,56	100,4	771,95
88,9	503,82	91,8	562,51	94,7	626,79	97,6	697,08	100,5	773,71
89,0	505,76	91,9	564,63	94,8	629,11	97,7	699,61	100,6	776,48
89,1	507,70	92,0	566,76	94,9	631,44	97,8	702,15	100,7	779,26
89,2	509,65	92,1	568,89	95,0	633,78	97,9	704,70	100,8	782,04
89,3	511,60	92,2	571,03	95,1	636,12	98,0	707,26	100,9	784,83
89,4	513,56	92,3	573,18	95,2	638,47	98,1	709,82	101,0	787,63

Um die Barometerhöhe für die Hunderttheile, z. B. zwischen 88 und 88,1°, zu finden, sucht man die Differenzen von 486,69 und 488,57 und dividirt sie durch 10. Diess gibt 0,188 mm. Für 88,03° Siedhitze ist alsdann die Barometerhöhe

$$= 486{,}69 + 3\ .\ 0{,}188.$$

In Quito siedet das Wasser schon bei 90° C., auf dem Montblanc bei 85,5° C. Schon aus diesem Grunde kann daselbst, ohne den papinischen Topf, das Fleisch nicht weich gekocht werden. Dazu kommt noch, dass in der höhern Luft das Wasser schwerer zum Sieden zu bringen, weil in ihr der Sauerstoff weniger Wärme entwickelt, indem er weniger dicht ist.

§. 343.

Der Dampfbildung ist das Zurückführen der Dämpfe in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeiten entgegengesetzt. Doch werden die Körper, die aus dem Dampf-Zustande oder einer chemischen Auflösung neu gebildet werden, zuweilen fest und nicht tropfbar-flüssig, wenn die Temperatur unter ihrem Schmelzpunkte ist. So wie beim Erstarren flüssiger Körper die gebundene Wärme wieder frei wird, so ist es auch der Fall, wenn Dünste wieder tropfbar-flüssig werden. Die Menge der freiwerdenden Wärme kann man finden, wenn man z. B. 1 Pf. Wasser in einem Gefässe verdampft, von welchem ein Rohr die Dämpfe nach einem zweiten mit kaltem Wasser gefüllten Gefässe führt. Das Rohr hat in diesem eine spiralförmig-gewundene Gestalt, damit die Dämpfe gehörig erkaltet oder verdichtet werden. Gesetzt nun, es hätten sich in dem zweiten Gefässe 20 Pf. Wasser von 10° C. befunden, so wird diese Wassermenge durch den aus jenem Pfund Wasser gebildeten Dampf bei seiner Verdichtung bis zu 40° C. erwärmt werden, also um 30°. Demnach hat das verdunstete Wasser so viel Wärme abgegeben, als nöthig ist, damit 20 Pf. Wasser um 30° wärmer werden, also 20 . 30 oder 600 Wärme-Einheiten. Das Wasser, welches aus dem verdichteten Dampfe gebildet wurde, hat aber die nämliche Temperatur von 40° angenommen, und also von 100° Wärme, die es vor der Dampfbildung haben musste, ebenfalls 60° verloren. Zieht man diese 60° von jenen 600° ab, so erhält man die Wärmemenge 540, welche der Dampf allein an das Wasser abgegeben hat. Daraus folgt also, dass die Wärme, welche aus 1 Pf. Dampf von 100° frei wird, wenn man ihn in Wasser von 100° verwandelt, so gross ist als die Wärmemenge, welche nöthig wäre, um 1 Pf. Wasser um 540° zu erwärmen, oder um 540 Pf. Wasser um 1° zu erwärmen. Durch genauere Versuche hat *Regnault* die Zahl 537 gefunden. Da man nun nach §. 334, um 1 Pf. Eis zu schmelzen, so viel Wärme braucht, als nöthig ist, um die Temperatur von 1 Pf. Wasser um 79° zu erhöhen, so ist also, um 1 Pf. Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln, 6,8mal so viel Wärme nöthig, als um 1 Pf. Eis von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln.

Nach *Regnaults* Versuchen ist die latente Wärme des Wasserdampfs, wie schon im vorigen §. bemerkt wurde, nicht für alle Temperaturen gleich, sondern sie wächst mit der Zunahme der Wärme, und zwar nach der Formel

$$\lambda = 606,5 + 0,305\,t,$$

worin λ die Zahl der Wärme-Einheiten und t die Temperatur in Centesimal-Graden bedeutet. Da auch die latente Wärme des Wassers nach *Regnaults* Versuchen mit der Temperatur wächst, und zwar nach der Formel

$$c = 1 + 0,00004\,t + 0,0000009\,t^2$$

und die gesammte von 0 bis t Gr. vom Wasser aufgenommene Wärmemenge nach denselben Versuchen dargestellt wird durch

$$Q = t + 0,00002\,t^2 + 0,0000003\,t^3,$$

so findet man die latente Wärme von 1 Kil. Dampf von t^0 über die von 1 Kil. Wasser von t^0 durch den Rest $\lambda - Q$. Dieser beträgt bei Dämpfen von 100°, 536,5 Wärme-Einheiten, bei solchen von 200°, 464,3.

Auf diese Art bestimmt man die Menge der aus den Dämpfen anderer Flüssigkeiten freiwerdenden Wärme. Sie beträgt nach *Brix* in Wärme-Einheiten bei

Alkohol	214	Citronöl	80
Schwefeläther	90	Terpentinöl	74

Nach diesen Zahlen steht die gebundene Wärme mancher Dämpfe ziemlich nahe in umgekehrtem Verhältniss mit ihrer Dichte. Auf der Eigenschaft des Wasserdampfes, dass er die meiste gebundene Wärme enthält, beruht die Anwendung desselben beim Heizen der Zimmer und grösserer Räume, zum Abdampfen, Trocknen von gefärbten Stoffen, Pulver u. dgl. Ferner zum Erhitzen von Walzen, zwischen denen Papier geglättet wird, und zu vielen ähnlichen Zwecken. Wo grössere Räume zu erwärmen sind, wird in einem niedrigern Theile des Gebäudes das Wasser in einem Kessel verdampft und durch eiserne Dampfleitungsröhren unter die Fussböden der Zimmer geleitet. Indem der Dampf sich darin zu Wasser verdichtet, wird seine gebundene Wärme frei und theilt sich von den Röhren der Luft mit. Das verdichtete Wasser fliesst wieder in den Kessel zurück, weil die Röhren eine schiefe Lage haben. Der Vortheil dieser Heizung besteht mehr in der Bequemlichkeit, nur *ein* Feuer unterhalten zu müssen, als in der Ersparung. Wo sie im Grossen angewandt wird, ist aber auch diese beträchtlich, weil der Feuerherd vortheilhafter eingerichtet werden kann, als der Ofen, indem die Wärme um den eingemauerten Kessel circulirt. Beim Kochen im Dampfe sind die Speisen durch einen durchlöcherten Boden von dem Wasser im Kochgeschirr getrennt und werden von den heissen Dämpfen eingehüllt und durchdrungen.

§. 344.

Wenn ein fester Körper in der mit Wasserdünsten gesättigten Luft erkaltet, so setzt sich das Wasser daran in Tropfen ab oder er beschlägt. Hieraus erklärt sich das Anlaufen der Fenster, das schon erwähnte Entstehen des Thau's u. s. w. Diese Erscheinung wird aber auch benutzt, um die Menge der Wasserdünste, welche die Luft enthält, zu finden. Man sucht, bis zu welcher Temperatur man einen Körper erkälten muss, damit er beschlägt, und bei welcher Temperatur der Beschlag von ihm wieder verschwindet. Das Mittel von beiden Temperaturen sieht man als die Temperatur an, bei welcher die Luft mit Wasserdünsten gesättigt ist, und nennt es den *Thaupunkt.*

Ein sehr zweckmässiger Apparat dazu ist *Daniell's Hygrometer.* Es besteht aus einem Glasrohr, Fig. 464, und zwei Glaskugeln. In der einen, welche grösstentheils mit Aether gefüllt ist, steckt ein kleines Thermometer *a*; die andere *b* ist mit Nesseltuch umwunden; beide sind luftleer und enthalten also nur Aetherdünste. Tröpfelt man nun Aether auf das Nesseltuch *b*, so werden die Aetherdünste in der Kugel *b* durch die entstehende Kälte verdichtet; es entstehen daher in der andern Kugel *a* neue Dünste, welche in *b* ebenfalls verdichtet werden u. s. w. Die Temperatur des Aethers, welcher das kleine Thermometer *a* umgibt, sinkt dadurch endlich so tief, dass die ihn enthaltende Kugel beschlägt, welches man leichter wahrnehmen kann, wenn ein Theil derselben vergoldet ist. Das Thermometer *a* gibt die Kälte an, bei welcher dieses geschah, und auch die, bei welcher der Beschlag wieder verdunstete. War nun z. B. der äussere Thermometerstand 20° C., der Punkt, bei welchem die Kugel beschlug, 9½°, und der, bei welchem der Beschlag wieder verschwand, 10½, so

Fig. 464.

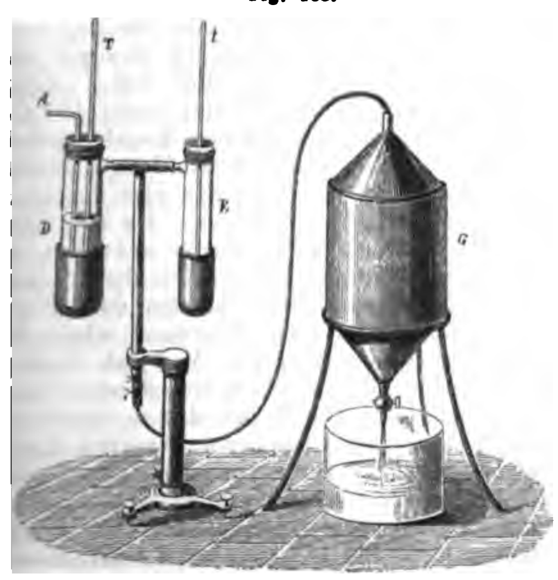


ist das Mittel 10°. Bei 10° ist also die Luft mit der gegenwärtig in ihr enthaltenen Dunstmenge gesättigt. Die Dichte des Wasserdampfs bei 10° beträgt 0,00000938 nach der Tabelle auf S. 429, und 1 Cub.-Meter Wasserdampf enthält also 9,38 Gr. Wasser. Wenn aber bei 20° Wärme die Luft mit Wasserdampf gesättigt wäre, so müsste die Dichte 0,00001723 sein, oder 1 Cub.-Meter 17,23 Gr. Wasser enthalten. Die Luft enthält also im gegenwärtigen Fall nur $\frac{938}{1723}$ oder 54,4 pro Cent. von der Feuchtigkeit, die sie bei 20° aufzunehmen vermag, und erscheint desshalb trocken. Würde die Temperatur auf 10° herabsinken, so wäre sie vollkommen feucht, und bei einer noch niedrigern Temperatur müsste ein Theil des Wasserdampfs als Regen, Nebel oder Thau niedergeschlagen werden. Bei dem Hygrometer von *Körner* gibt eine Thermometerkugel unmittelbar die Entstehung der Verdichtung und die dabei statthabende Temperatur an.

Daniell hat durch Erfahrungen gefunden, dass sein Hygrometer so sichere Voranzeigen für Regen liefert, als irgend ein anderes. Es ist beinahe immer Regen zu erwarten, wenn der Unterschied zwischen der Temperatur des Thaupunktes und der Temperatur der Luft sehr gering ist. Vergrössert sich Morgens dieser Unterschied, so ist diess ein Anzeichen schönen Wetters. Vermindert er sich, so bedeutet es Regen auf den Abend.

Dem Hygrometer von *Daniell* hat *Regnault* mehrere gegründete Vorwürfe gemacht; besonders den, dass der Aether in den obern Schichten kälter, als an den tiefern Stellen ist; dass durch die Nähe des Beobachters der Feuchtigkeits-Gehalt und die Temperatur der Luft geändert wird; und endlich, dass der verdampfende Aether nie wasserfrei ist, und darum den Wassergehalt der Luft vermehrt.

Fig. 465.



Regnault schliesst darum zwei Thermometer *T* und *t*, wie in Fig. 465, in silberne und aussen polirte kleine Gefässe ein, in welche die Glasröhren *D* und *E* gekittet sind. Durch den Pfropfen der Röhre *D* geht eine Glasröhre *A* bis auf den Boden des Gefässes, welches zur Hälfte mit Aether gefüllt ist. Das Gefäss *D* steht ausserdem durch eine elastische Röhre mit dem Aspirator *G* in Verbindung, *E* aber nicht. Oeffnet man den Hahn des Aspirators, so fliesst Wasser aus, die Luft in *D* wird verdünnt, und indem durch die Röhre *A* andere Luft eindringt,

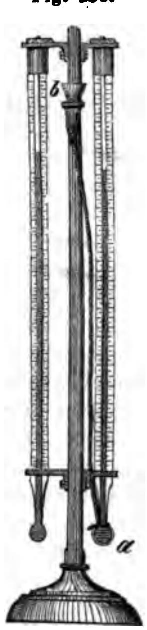
befördert sie die Bewegung und Verdunstung des Aethers. Dabei wird das silberne Gefäss erkältet und bethaut zuletzt. Die Beobachtung des Thaupunktes an T und der Lufttemperatur von t geschieht durch ein Fernrohr; die Berechnung der Feuchtigkeitsmenge wie beim *Daniell*'schen Hygrometer.

Man kann die Resultate der Hygrometer durch das chemische Verfahren, welches sicherer, aber mühsamer ist, prüfen. Eine U förmige Glasröhre, die mit einer gewogenen Menge Chlorcalcium gefüllt ist, wird an einem Ende mit einem Aspirator in Verbindung gesetzt. Nachdem das Wasser aus diesem ausgeflossen, ist so viel Luft durch das Chlorcalcium gestrichen, als das Volumen des Wassers in dem Aspirator betrug. Die Gewichtszunahme des Chlorcalciums ist die Wassermenge, die jenes Luftvolumen enthielt. Nach *Andrews* ist gepulverter Alabaster oder Gyps, in gut getrocknetem Zustand, ein eben so hygroscopischer Körper, als das geschmolzene Chlorcalcium.

§. 345.

Je trockener die Luft ist, desto rascher verdunstet das Wasser; desto mehr wird auch seine Umgebung erkältet. Hierauf gründet sich das *Psychrometer* oder der *Nasskältemesser* von *August*, Fig. 466, ein Instrument, welches gleichfalls zur Berechnung der in der Luft enthaltenen Feuchtigkeitsmenge benutzt wird. Es besteht aus zwei genau mit einander übereinstimmenden Thermometern. Die Kugel des einen, a, ist mit Mousselin umhüllt. Zu dieser leitet ein geflochtener schmaler Docht ba, welcher in den Boden des mit Wasser gefüllten Trichterchens b gesteckt ist, immerwährend etwas Wasser herab. Die Kugel des Thermometers wird dadurch ringsum befeuchtet, und die darauf folgende Verdunstung bewirkt ein Sinken dieses Thermometers, welches so lange dauert, bis die umgebende Luft mit Wasserdünsten gesättigt ist. Der Unterschied zwischen beiden Thermometern oder die *psychrometrische Differenz* ist um so grösser, je weniger die Luft vorher mit Wasserdünsten gesättigt war. Zeigt z. B. das trockene Thermometer 20°, das nasse 15° C., so wird die Luft, welche an der feuchten Kugel vorbeistreicht, auf 15° erkältet und mit Wasserdampf gesättigt. Nach der Tabelle S. 429 enthielte also nachher 1 Cub.-Meter derselben 12,8 Gr. Wasser. Da die Luft aber selbst noch Wasser am Thermometer aufnahm, so enthielt sie vorher weniger als 12,8 Gr. Offenbar nimmt sie aber um so mehr Wasser auf, je rascher das Wasser am Thermometer verdunstet; je grösser also die Differenz der beiden Thermometer ist. Man hat darum auch gefunden, dass die Wassermenge, die sie aufnimmt, dieser Temperatur-Differenz nahezu proportional ist. Die Menge des in Gasform beim Vorüberstreichen der Luft von ihr aufgenommenen Wassers kann daher durch $k\,(t - t')$ bezeichnet werden. Diese Quantität muss von der Menge, welche die Luft nach dem Vorbeiziehen an dem nassen Thermometer (also bei 15°) enthielt, abgezogen werden, um die Menge zu finden, die sie vorher enthalten hat. Bei 15° ist aber 1 Cub.-Meter

Fig. 466.



gesättigt mit 12,8 Gramm. Es enthielt also vorher 1 Cubik-Meter Luft nur

$$12,8 - k\,(t - t')$$

Gr. Wasser. Die Zahl k liegt nach verschiedenen Vergleichungen mit dem *Daniell*'schen Hygrometer und dem von *Regnault* zwischen 0,65 und 0,54. Nimmt man als Mittel die Zahl 0,6 und bezeichnet man die Wassermenge, die bei der Temperatur des befeuchteten Thermometers 1 Cub.-Meter Dampf enthält, durch F, so ist also der wahre Wassergehalt von 1 Cub.-Meter Luft oder

$$w = F - 0,6\,(t - t').$$

In dem obigen Beispiel ist $F = 12,8$; $t - t' = 5$; also $w = 9,8$ Gr. Das heisst, jeder Cub.-Meter Luft enthält 9,8 Gr. Wasser. Bei den Beobachtungen ist es nöthig, dass das Instrument dem natürlichen oder einem künstlichen Luftzug ausgesetzt sei. Die Thermometer müssen wenigstens Zehntheile von Graden angeben. Dann aber ist auch dieser Apparat, in Verbindung mit Tabellen, welche den Gebrauch der obigen Formel erleichtern, das bequemste, doch nicht das zuverlässigste Hygrometer.

Genauere Resultate erhält man durch die Benutzung von *Regnault's* Beobachtungen und die Berücksichtigung des Luftdruckes und der Räumlichkeit. Nach ihm genügt die Formel:

$$w = F - k\,(t - t')\,b,$$

worin b der Barometerstand in Millimetern und k ein Coëfficient ist, der nach der Räumlichkeit folgende Werthe hat:

In kleinen geschlossenen Zimmern . . . $k = 0,00128$
In grossen dto. . . . . $k = 0,00100$
In Sälen mit offenen Fenstern . . . . . $k = 0,00077$
In Höfen . . . . $k = 0,00074$
Im Freien, ohne Wind . . . . $k = 0,00090$

Zu manchen Zwecken wünscht man die Menge des Wassers zu erfahren, welche in einer bestimmten Zeit von einer gegebenen Oberfläche verdunstet. Auch dazu dienen verschiedene Instrumente, von denen sich das *Atmidoscop* von *Babinet* empfiehlt, weil bei ihm die Verdunstung sowohl eine Folge der Trockenheit der Luft, als auch ihrer Temperatur und Bewegung ist. Es besteht aus einem porösen Thongefäss, welches mit Wasser gefüllt und daher an der Oberfläche immer feucht ist. Dieses steht durch eine Röhre mit einem Glasgefäss in Verbindung, aus dem ihm das verdunstete Wasser wieder ersetzt wird, und an dem man sehen kann, wie viel es in einer gewissen Zeit verloren hat.

Nach *Schübler* verdunstet am Aequator jährlich in der Sonne eine Wassersäule von 9,3 M., im Schatten von 3,1 M. Im mittleren Europa betragen diese Zahlen 0,65 und 0,62 M.

§. 346.

Die zurückstossende Kraft der Wärme, welche als Ursache der Dampfbildung angesehen werden muss, äussert sich auch zwischen ungleichartigen Körpern, welche in keinem unmittelbaren Zusammenhange mit einander stehen. *Fresnel* fand, dass im luftleeren Raume eine Scheibe, welche parallel mit einer andern an einem leicht beweglichen Zeiger befestigt war, von dieser abgestossen wurde, wenn man sie durch ein Brennglas erhitzte. *Baden-Powell* beobachtete, dass zwei Glasplatten, welche so stark zusammengepresst sind, dass sie die Farben dünner Plättchen zeigen, bei der Erwärmung sich von einander entfernen, indem eine Farbenänderung entsteht, welche auf einen grössern Abstand

schliessen lässt. Auch auf sehr verdünnte Gase scheint, nach einem unter der Lehre von der Magnet-Elektrizität zu beschreibenden Versuch, die Wärme eine abstossende Wirkung zu haben. Vielleicht ist auch die von der Sonne abgewendete Richtung der Kometenschweife eine Folge davon. Man hat sonst auch noch folgende Erscheinungen damit in Verbindung bringen wollen: Wenn man auf ein weissglühendes Platinblech oder ein heisses Eisen einen Wassertropfen oder eine geringe Menge einer andern Flüssigkeit fallen lässt, so breitet er sich nicht darauf aus, sondern er behält seine Tropfengestalt. Bald geräth er in Drehungen, die seine Gestalt verändern und mit schwingender Bewegung verbunden sind, wodurch er oft zu einem sechsstrahligen oder andern Sterne wird. Die Verdunstung desselben erfolgt viel langsamer als bei gewöhnlicher Hitze, und seine Temperatur ist dabei nach *Boutigny* nur 96,5°, also unter 100°. Erst wenn das Blech sich bis auf 200 oder 300° abkühlt, indem man die darunter gestellte Weingeistlampe entfernt, breitet sich der Tropfen über das Metall aus und fängt an zu kochen. Seine Temperatur steigt dabei oft so schnell, dass er unter einem lauten Knall plötzlich in Dampf verwandelt wird. Dieser Versuch, welcher von *Leidenfrost* herrührt, beweist, dass zwischen dem glühenden Metall und dem Wassertropfen keine Berührung stattfindet, und dass die Bildung einer geringen Menge von Dämpfen an dem Punkt, an welchem der Wassertropfen dem Blech am nächsten ist, die Berührung in mehreren Punkten verhindert und nicht die abstossende Kraft der Wärme. Für diese Erklärung spricht auch die rotirende Bewegung des Wassers, und die Beobachtung *Person's*, dass zwischen dem Wasser und dem glühenden Körper ein messbarer Zwischenraum sich befindet, und dass die Erscheinung bei desto niedrigern Temperaturen stattfindet, je flüchtiger die Flüssigkeit ist. Die nämliche Ursache liegt auch der Erscheinung zu Grunde, dass, wenn man einen weissglühenden Eisenstab schnell in Wasser taucht, derselbe kurze Zeit leuchtend bleibt, und erst, wenn er ein wenig erkaltet ist, das Wasser in Dampf verwandelt.

Dass auch die Flüssigkeitshaut hiebei die Berührung erschwert, weil die Adhäsion zum Metallblech aufhört, geht aus den §§. 109 und 110 hervor. Auf ähnliche Art muss man es erklären, warum der Finger nicht verletzt wird, wenn man ihn in flüssiges Blei oder selbst in geschmolzenes Eisen taucht. Durch die Wärme hört die Adhäsion auf, und die Flüssigkeitshaut verhindert die Berührung zwischen dem Metall und dem Finger in mehreren Punkten. Die strahlende Wärme wirkt also allein, und diese wird grossentheils auf die Bildung von Wasserdämpfen an der Oberfläche des Fingers verwendet. Wenn man den Finger in siedend-heisses Wasser taucht, so hört die Adhäsion nicht auf; daher die Bildung von Blasen. Streut man aber Bärlappsamen auf das Wasser, so kann man den Finger ungestraft hineintauchen.

Boutigny zeigte, dass das *Leidenfrost*'sche Phänomen jedesmal stattfindet, wenn ein flüssiger verdampfbarer Körper auf eine hinreichend erwärmte Metallfläche gebracht wird. Glühende und sehr dicke Platintiegel kann man sogar ganz mit Wasser anfüllen, ohne dass es die Wände berührt, und folglich siedet. Schweflige Säure zeigt die Kugelgestalt selbst in einem glühenden Platintiegel, während sie doch bei 10 bis 12° Kälte schon verdampft, indem sie an die kalte Platina adhärirt und ihr die zur Dampfbildung nöthige Wärme entzieht. In dem glühenden Tiegel ist sie *olirt und* kann keine Wärme aufnehmen. Wird sie aber durch darauf gegossenes

Wasser erkältet, so erstarrt dieses zu Eis, weil nun die schweflichte Säure schnell verdampft. *Faraday* brachte auf diese Art Quecksilber zum Gefrieren, indem er zuerst Aether und flüssige Kohlensäure in den Tiegel brachte. Man hat durch den *Leidenfrost*'schen Versuch auch viele Explosionen des Dampfkessels zu erklären gesucht, indem die meisten bald nachdem die Maschine wieder in Gang gesetzt worden ist, erfolgen. Steht nämlich die Maschine still, so arbeiten auch die Wasserpumpen nicht mehr, aber es entweicht bei fortwährendem Heizen viel Wasser als Dampf durch die Ventile. Die Wände des Kessels werden darum von Wasser frei und glühen. Wenn aber nun die Pumpen wieder zu arbeiten anfangen, so werden sie abgekühlt, die Wärme theilt sich dem wenigen Wasser mit und dieses wird nun plötzlich in Dampf verwandelt. In einem kleinen kupfernen Kessel, der 4 bis 6 Loth Wasser aufnimmt und durch einen Pfropfen verschlossen werden kann, lässt sich diess im Kleinen zeigen, besonders wenn der Boden innen versilbert ist. Erhitzt man diesen bis zum Glühen und bringt man vorsichtig etwas Wasser hinein, so dass es Kugelgestalt annehmen kann, so explodirt dieses, wenn der Kessel schnell verschlossen wird, und erkaltet. Nach *Donny* soll die Hauptursache der Dampfkessel-Explosionen darin liegen, dass die Entfernung aller Luft durch langes Kochen die Cohäsion des Wassers vermehrt und das Sieden erschwert. Die Dampfblasen entwickeln sich dann plötzlich mit grosser Heftigkeit, was man sogar an dem Aufstossen beim Sieden in offenen Gefässen wahrnimmt. Kocht man Wasser längere Zeit in einem Glaskölbchen, das abwärts in eine offene Spitze ausgezogen ist, die in Quecksilber mündet, welches also die Stelle des Ventils versieht, so erfolgt immer eine Explosion. Um demnach das Springen der Dampfkessel zu verhüten, müsste man von Zeit zu Zeit Luft in das Wasser pumpen.

Die Hauptursachen der Dampfkessel-Explosionen sind aber nach den Untersuchungen von *C. Burke:* Fehler in der Construction des Kessels, übermässiger Dampfdruck, Nachlässigkeit in der Beaufsichtigung der Maschine, Ventile u. s. w., Abnahme der Zähigkeit des Metalls dadurch, dass es öfter glühend geworden ist, Verbrennen desselben da, wo der Niederschlag aus dem Wasser so dick geworden ist, dass die Mittheilung der Wärme vom Kessel an dasselbe verhindert wird, und endlich die Verwendung von brüchigem, schlechtem Eisen zu den Kesseln.

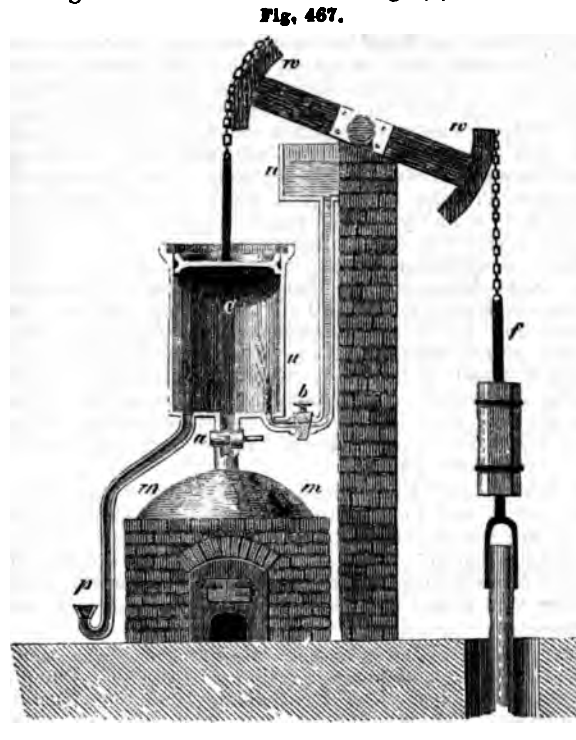
Die abstossende Kraft der Wärme nimmt man nach *Perkins* auch wahr, wenn Wasser in einem sehr erhitzten Cylinder eingeschlossen ist, indem alsdann die Dämpfe durch eine enge Oeffnung nicht entweichen. Die Erscheinung, dass ein Wassertropfen, der an einem Drahte hängt, sich von der erhitzten Stelle entfernt, folgt aus einer Verdampfung zur Seite der erhitzten Stelle.

§. 347.

Die Verdichtung der Wasserdämpfe durch kaltes Wasser kann man zur Hervorbringung eines leeren Raumes benutzen. Auf dieser Idee beruht das erste von *Papin* 1695 ausgeführte Modell einer Dampfmaschine. *Savery* wandte 1698 dieses Prinzip zur Hebung von Wasser an, und indem *Newcomen* 1705 dasselbe auch zur Hervorbringung anderer Arten von Bewegung anwendete, construirte er die erste eigentliche Dampfmaschine. Die Beschreibung der älteren Dampfmaschinen, welche noch jetzt unter dem Namen *atmosphärische Maschinen* bei Hebung von bedeutenden Quantitäten Wasser zuweilen angewandt werden, gibt über die Wirkung des Dampfes am meisten Aufschluss. In Fig. 467 bezeichne *f* eine Pumpenstange, so wird durch das Auf- und Niedergehen das Wasser in der Pumpe gehoben. Dieser Hin- und Hergang der Pumpenstange *f* kann nun dadurch bewirkt werden, dass man an dem andern Ende des Waagbalkens *w w* eine solche hin- und hergehende Bewegung veranlasst, indem man unter dem Kolben *c* in dem Cylinder *u* abwechselnd einen luftleeren und mit Dampf von der Elastizität der äussern Luft erfüllten Raum hervorbringt. Wäre nämlich der Raum unter c luftleer, so würde vermöge des atmosphärischen Druckes der Kolben c

herabgehen, und liesse man nachher wieder Dampf einströmen, so würde das grössere Gewicht der Stange *f*, welche die Pumpe mit der Kette und dem Waagbalken *w w* verbindet, den Kolben *c* wieder hinaufziehen. Die Anwendung der Luftpumpe zur Hervorbringung des luftleeren Raumes ist hierbei unzweckmässig, weil sie zu viel Kraft erfordert. Man bringt darum den luftleeren Raum unter *c* dadurch hervor, dass man durch einen Hahn *a* aus dem Dampfkessel *mm* Dampf einströmen lässt, und diesen, wenn der Kolben *c* an dem obern Rande des Cylinders angekommen ist, durch Einspritzen kalten Wassers wieder verdichtet. Das letztere wird dadurch bewirkt, dass man, nachdem der Hahn *a* geschlossen ist, den Hahn *b* öffnet, welcher das Wasser in dem Behälter *n* von dem Cylinder abschliesst. Nun geht der Kolben *c* herab, weil ein luftverdünnter Raum unter ihm entstanden ist. Die Luft wurde nämlich im Anfang mit Dampf vermischt, durch die nach aussen sich öffnende Klappe *p* hinausgetrieben. Durch abwechselndes Oeffnen und Schliessen des Hahns *a* und *b* kann dieses Hin- und Hergehen des Kolbens *c* und damit der Pumpenstange *f* unterhalten werden.

Fig. 467.



In der Folge wurden, besonders durch *Watt*, viele Verbesserungen an dieser Maschine vorgenommen. Die wesentlichste bestand darin, dass er der Maschine selbst das Oeffnen und Schliessen der Hahnen auf eine zweckmässigere Art, als es früher durch einen Knaben, Namens *Potter*, geschehen war, übertrug, und die Erkältung des Cylinders durch das eingespritzte Wasser beseitigte, indem er die Verdichtung des Dampfes in einem besondern Gefässe, dem *Condensator*, vornahm, und endlich darin, dass er den Luftdruck ganz aus dem Spiele liess; indem er den Kolben dadurch in Bewegung setzte, dass er den Druck auf den Kolben gegen den leeren Raum durch die Spannkraft des Dampfes selbst bewirkte. Dadurch wurde es möglich, den Druck durch Dampf von jeder beliebigen Expansivkraft und Temperatur zu bewirken. Die *Watt*'schen Maschinen sind entweder *einfach-wirkend* oder *doppelt-wirkend*.

§. 348.

Die *einfach-wirkende Watt*'sche Maschine hat mit der atmosphärischen Maschine viel Aehnlichkeit; nur drückt der Dampf den Kolben nieder, während der Dampf unter demselben in den Condensator tritt. Hierauf setzt die Maschine durch ein Rohr den obern und untern Theil des Cylinders in Verbindung, so dass der Kolben auf beiden Seiten gleichstark gedrückt wird, und ein Gegengewicht ihn wieder in die Höhe treiben kann. Viel vortheilhafter in den meisten Fällen ist die *doppeltwirkende Maschine* von *Watt*, in welcher der Dampf abwechselnd auf beide Flächen des Kolbens drückt, und in welcher die Condensirung des Dampfes bald unter, bald über dem Kolben stattfindet. Dadurch bewirkte *Watt* nicht nur Ersparniss an Zeit, sondern auch an Kosten, weil der Kolben nun sowohl beim Hin- als beim Hergang wirkt, und die Wärme, welche sonst nöthig war, um den Dampf beim Hinaufgehen des Kolbens warm zu erhalten, nicht mehr verloren geht. Durch diese und andere Verbesserungen verminderte er den Aufwand an Brennmaterial um zwei Dritttheile, und verringerte überdiess, bei gleicher Leistung, den Umfang und das Gewicht der Maschine. Die Fig. 468 stellt eine doppelt-wirkende Maschine nach dem Systeme von *Watt* vor, und ist so abgebildet, dass man mit Hilfe derselben sich die Wirkungsart jeder ähnlichen Dampfmaschine leicht erklären kann.

Aus dem Dampfkessel *A* gehen die durch das Feuer bei *X* entwickelten Dämpfe in das Dampfrohr *L*, und gelangen von da in den eingeschlossenen Raum *n,n*, welcher den hohlen Schieber *mm* umgibt. Dieser Schieber wird durch die Stange *u*, welche mit dem Winkelhebel *N* in Verbindung steht, auf und nieder bewegt. Der Schieber *mm* ist oben und unten offen, schliesst aber so dicht an die Wände des Raumes *n,n* an, dass der Raum über und unter seinen beiden Enden in keiner Verbindung mit *n,n* steht. Der Kanal 3,4 führt in den Cylinder *D*, in welchem der Dampf durch eingespritztes Wasser verdichtet wird; wesshalb er der *Condensator* heisst. Bei der jetzigen Stellung des Schiebers gehen die Dämpfe aus *n,n* durch die Oeffnung 1 in den *Dampfcylinder CC über* den Kolben *M* und drücken diesen herab; die *unter M* befindlichen Dämpfe aber gehen durch die Oeffnung 2 und den Kanal 3,4 in den Condensator *D*. Wird aber durch den Hebel *N* und die Stange *u* der Schieber *mm* herabgedrückt, wie in Fig. 469, so kommt der Raum *nn* in Verbindung mit der Oeffnung 2; der Dampf geht also unter den Kolben *M* und drückt ihn in die Höhe. Der Dampf über *M* geht durch die Oeffnung 1, und das obere, offene Ende von *mm* durch den hohlen Schieber *mm* und den Canal 3, 4 in den Condensator. Tritt der Dampf durch 1 über den Kolben *M*, so ist unter diesem ein luftleerer Raum. Der Druck bei 100° C. Wärme ist also schon dem der Luft gleich. Ebenso ist es, wenn der Dampf durch 2 unter den Kolben tritt. Die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens wird durch die Kolbenstange *MS* (Fig. 468) dem Balancier *FF* mitgetheilt. Dieser theilt sie der Stange *WT*, und dadurch der Kurbel *GT* des Schwungrades *HH* mit. Die Kraft, mit welcher dieses dadurch umgedreht wird, kann man auf die manchfaltigste Weise benutzen.

Der luftleere Raum in *D* wird durch die Luftpumpe *E* hervorgebracht. Die Cylinder *D* und *E* stehen bis zur Linie *w,w* in kaltem Wasser. Das knieförmige Rohr *q* kann durch den Hahn *o* mittelst des Handgriffs *p* geöffnet werden. Geht nun der Kolben *M* herab, so presst er die unter ihm befindliche Luft durch 2, 3, 4 und *q* hinaus. Schliesst man nun *o* und geht *M* hinauf, so geht auch der Kolben in *E* hinauf. Die Luft in *D* dringt durch den Canal 7,8 in den Raum *E* und wird verdünnt. Geht der Kolben in *E* herab, so presst er die Luft zusammen, weil sie durch die Klappe in den Canal 7,8 gehindert ist, nach *D* zurückzutreten; sie wird also verdichtet und entweicht durch die Klappen 9, 9. Ist der Raum in *D* auf diese Art nach und nach luftleer geworden, so wird der Hahn *o* geöffnet, und das kalte Wasser, welches durch den Druck der äussern Luft hineingetrieben wird, verdichtet den später hineintretenden Dampf. Das dadurch entstehende warme Wasser wird nun

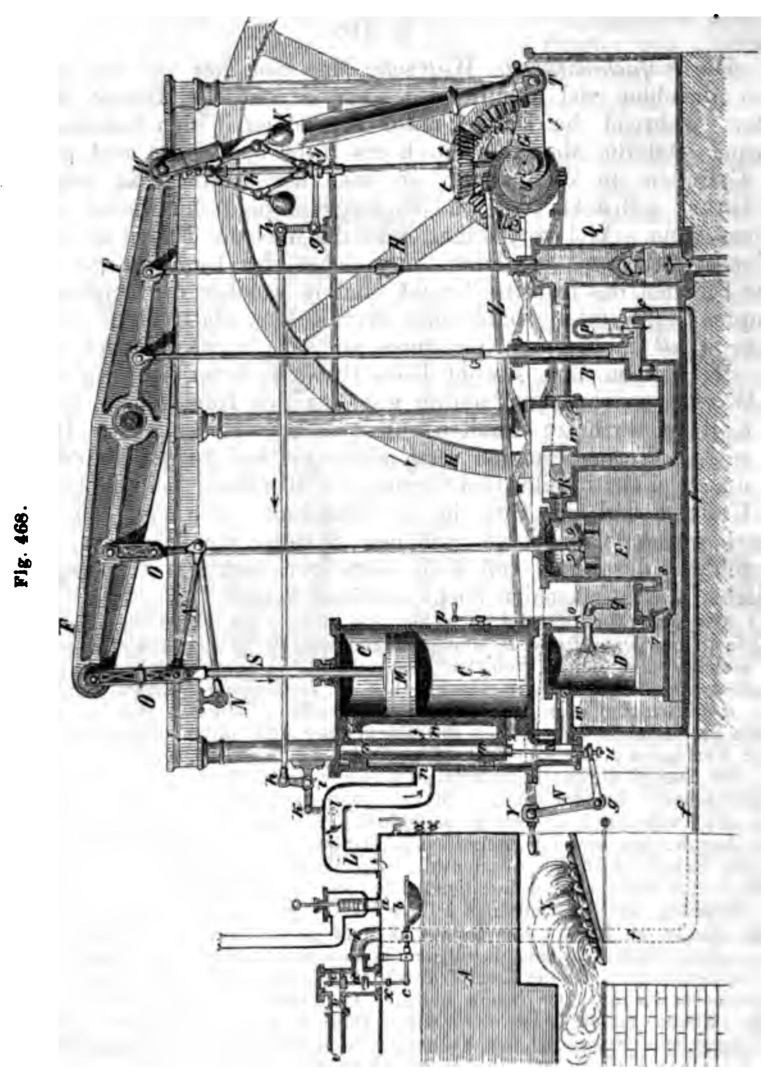
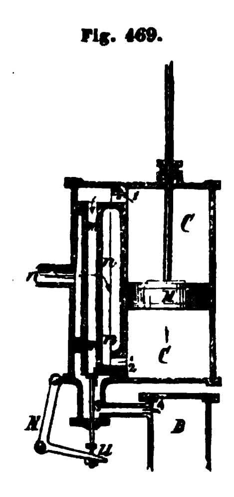


Fig. 468.

durch die Luftpumpe auf dieselbe Art fortgeschafft, wie vorhin die Luft. Es gelangt von *E* in den Raum *R*, und fliesst von dort durch das kreisförmige Loch zum Theil ab; zum Theil wird es aber durch die *Speisepumpe B* in den Windkessel *P* gepresst, gelangt von da durch die lange Röhre *ffff*, welche die *Speiseröhre* heisst, in den Raum *e*, *d* über dem Kessel. Von diesem geht das Wasser entweder durch die Röhre *vv* in's Freie oder durch die Oeffnung *x* in den Kessel. Sinkt nämlich das Wasser in dem Kessel, so sinkt auch der *Schwimmer b;* also steigt das andere Ende *c* des Hebels *bc*, und indem dadurch das Ventil *d* geöffnet wird, wird das Ventil bei *e* geschlossen. Das Wasser von *f*, *f* wird also durch *x* in den Kessel **gepresst.** Steigt aber das Wasser im Kessel, so hebt sich *b* und der Punkt *c* sinkt; das Ventil *d* schliesst also die Oeffnung *x*; dagegen wird *e* offen und das Wasser von *ff* fliesst durch *v v* ab. Das kalte Wasser um den Condensator wird durch die ***Kaltwasserpumpe Q*** erneuert, und fliesst durch eine Oeffnung ab, wenn es **zu hoch steht.** *Die Bewegung* des Schiebers *mm* wird auf folgende Art bewirkt. ***G*** **ist der Mittel-**

Fig. 469.



punkt der Achse des Schwungrades, U der Mittelpunkt der daran befestigten, und also excentrischen Scheibe. Um diese Scheibe liegt ein loser Ring, welcher einen Theil der Schubstange YZZ ausmacht. Dreht sich das Schwungrad, so geht der Punkt U um G herum, folglich die Schubstange YZ hin und her. Der Winkelhebel N, der damit in Verbindung steht und sich um den festen Punkt g dreht, bewegt also die Stange u und den Schieber mm auf und ab. Wenn YZ bei Y ausgehoben wird, so steht N still, also auch der Schieber mm. Der Mechanismus mit dem Schieber mm heisst die *Steuerung*.

Auf der Achse des Schwungrades ist noch ein gezahntes Rad zz angebracht, dessen Zähne in ein horizontales conisches Rädchen tt greifen. Dadurch wird mit diesem die dazu senkrechte Stange mit den beiden Kugeln K gedreht. Je schneller diese Umdrehung ist, desto weiter fliegen die Kugeln aus einander, und desto höher steigt der verschiebbare Ring y. Durch das Steigen von y wird der Winkelhebel hgy gedreht und die Stange h, h nach der Richtung des Pfeiles bewegt. Durch den Winkelhebel hik werden alsdann die Punkte k und l niedergedrückt, und die Klappe r in dem Dampfrohre so gestellt, dass sie dem Dampfe den Durchgang erschwert. Die Maschine geht also langsamer, die Kugeln fallen zusammen, die Klappe wird wieder mehr geöffnet, und auf diese Art der Gang der Maschine geregelt. Die Vorrichtung KK heisst aus dieser Ursache der *Regulator*. — An dem Kessel ist bei a eine Oeffnung, die durch ein mit Gewichten beschwertes Ventil, das *Sicherheitsventil*, geschlossen ist. Wenn die Elastizität der Dämpfe allzu gross wird, so heben sie das Gewicht des Ventils und entweichen durch das zur Seite befindliche Rohr. Soll die Maschine längere Zeit still stehen, so hebt man an dem Handgriffe das Ventil auf und lässt die Dämpfe entweichen. Ausser diesem Ventile bringt man in der Regel noch ein anderes an, welches sich nach innen öffnet, damit die atmosphärische Luft in den Kessel dringen kann, wenn die Expansivkraft der Dämpfe so abnehmen sollte, dass der Kessel Gefahr läuft, durch die äussere Luft zusammengedrückt zu werden. Der Mechanismus OO dient nur, um die Kolbenstangen des Dampfcylinders und der Luftpumpe lothrecht zu erhalten, und heisst das *Parallelogramm*. Indem nämlich das verschiebbare Viereck OO durch das Herabgehen des Balancier in der gegenwärtigen Stellung links gedrückt würde, und also die an dem untern Ende des Parallelogramms befestigte Kolbenstange SM von der vertikalen Lage abweichen müsste, bewirkt die in N an dem Gestelle befestigte Stange NN' eine Verschiebung des Parallelegramms nach der rechten Seite, so dass die Kolbenstange SM nahezu lothrecht bleibt. Die beiden Hahne an den Vorderseiten des Kessels zeigen die Richtigkeit des Wasserstandes an, wenn der obere beim Oeffnen Dampf, der untere Wasser gibt. Ueber ihnen befindet sich ein heberförmiges Barometer, um den Druck der Dämpfe im Kessel anzugeben. Häufig wird auch neben diesem noch eine, sowohl oben als unten mit dem Kessel communicirende Glasröhre angebracht, um die Höhe des Wasserstandes von Aussen sehen zu können. Dem Kessel hat man verschiedene Formen gegeben. Er ist bald prismatisch, bald kugelförmig oder cylindrisch. Zuweilen besteht er auch aus vielen verbundenen Röhren, damit die Folgen seines Zerspringens weniger nachtheilig sind. Bei cylindrischen Kesseln wird der Heizraum häufig im Innern derselben angebracht, und besteht in einem kleineren Cylinder, dessen Achse der des ersten parallel, aber niedriger gelegen ist. Das Ansetzen des Pfannensteins in den Kesseln muss man zu verhüten suchen, weil er den Boden des Kessels allmälig als eine harte Kruste bedeckt, und sowohl die Erwärmung des Wassers verzögert, als auch dem Kessel selbst nachtheilig ist. Als das wirksamste Mittel dagegen wendet man eine geringe Quantität Syrup an. Beim Seewasser setzt man ausser Obigem noch Scherben oder kleine Kugeln von Glas zu. Die gewöhnliche Schiffsdampfmaschine unterscheidet sich von der *Watt*'schen Maschine dadurch, dass der Balancier unter der Kurbelachse angebracht, und das Schwungrad, welches hier ohne Nutzen wäre, weggelassen ist. Aus letzterem Grunde sind aber auch zwei Maschinen nöthig, welche auf die unter rechten Winkeln geneigten Kurbeln der Achse in der Art wirken, dass, wenn durch die eine Maschine die dazu gehörige Kurbel vertikal gestellt ist, und also eine weitere

Drehung derselben unmöglich wäre, die andere Maschine vermöge der horizontalen Stellung ihrer Kurbel nun auf diese gerade am stärksten wirkt und dadurch die erste Kurbel wieder aus der vertikalen Lage in eine schiefe versetzt.

§. 349

Weit einfacher als die bisher beschriebenen Dampfmaschinen sind die *Hochdruckmaschinen*. Bei diesen tritt der Dampf aus dem Kessel bald über, bald unter den Kolben mit einem Drucke, welcher wenigstens zwei- und einhalbmal grösser ist als der Druck der Atmosphäre, und entweicht nach vollbrachter Wirkung, ohne condensirt zu werden. Der aus der Maschine entweichende Dampf wird gewöhnlich durch eine Röhre zur weitern Benutzung fortgeleitet. Um die Abkühlung zu verhüten, welche bei Dampf von so hoher Temperatur viel beträchtlicher ist, umgibt zuweilen der Dampfkessel den Cylinder. Nach dem §. 341 sind fast eben so viel Kohlen nöthig, um ein Kilogramm wärmeren und elastischeren Dampf zu bilden, als um eine gleiche Menge Wasser in weniger elastischen Dampf zu verwandeln; in dem Verhältniss aber, in welchem der Dampf wärmer wird, nimmt er auch an Dichtigkeit zu, und es ist daher eine grössere Menge desselben nöthig, um denselben Raum auszufüllen. Es entsteht darum die Frage, ob die Zunahme der Spannkraft des Dampfes einen Ersatz gewährt für die Zunahme des Kohlenverbrauches, welche zur Erzeugung derselben Arbeit nöthig ist. Die Entscheidung derselben fällt bei der Annahme, dass man gleichviel Brennmaterial braucht, um 1 Kil. Dampf von hoher oder niederer Elastizität zu erzeugen, dahin aus, dass bei höherer Elastizität des Dampfes sogar noch eine Ersparniss eintritt, und dass daher Dampfmaschinen von hohem Drucke bei gleichen Leistungen weniger Brennmaterial erfordern, als Maschinen von niedrigem Drucke. Diese Annahme ist aber nach §. 341 nicht richtig, und in der Erfahrung haben ihr die Hochdruckmaschinen auch nicht entsprochen. Wird aber der Dampf, nachdem er in der Maschine gewirkt hat, statt in die Atmosphäre zu entweichen, zur Erwärmung von Wasser, zum Trocknen, Heizen u. s. w. benutzt, so ist diese Einrichtung vortheilhaft. Soll der Dampf nur als mechanische Kraft wirken, so sind die Hochdruckmaschinen nur dann zu empfehlen, wenn sie einen kleinern Raum einnehmen sollen, z. B. bei Dampffuhrwerken oder wo das Condensationswasser nur schwer herbeizuschaffen ist.

Die Wirkung der Hochdruckmaschinen ist bei gleichem Kohlenaufwande vortheilhafter, wenn der Dampf durch *Expansion* wirkt, das heisst, wenn er in dem Augenblick abgeschlossen wird, in welchem der Kolben erst die Hälfte oder zwei Drittheile des Cylinders durchlaufen hat, und durch die Expansivkraft des Dampfes vollends bis an's Ende bewegt wird. *Hornblower* und *Woolf* haben die Hochdruckmaschine auch so eingerichtet, dass sie aus einem kleinern und grössern Cylinder besteht, so dass in dem ersten der Dampf mit ganzem Drucke wirkt, im zweiten aber durch seine Expansivkraft. Beide Systeme, vorzüglich aber das erste, werden auch bei der einfachen und doppelt-wirkenden *Watt*'schen Maschine mit dem grössten Vortheile hinsichtlich des Brennmaterials in Anwendung gebracht.

Ausser den oben beschriebenen Arten von Dampfmaschinen gibt es

noch verschiedene andere Einrichtungen, welche aber alle in praktischer Hinsicht den bisher beschriebenen Maschinen weit nachstehen. Bei den *rotirenden* Maschinen dreht sich eine Fläche in einem Cylinder um eine Achse, indem durch die Wirkung des Dampfes auf diese Fläche unmittelbar eine rotirende Bewegung hervorgebracht wird. Wenn man einen verschlossenen Raum durch Dampf luftleer macht, und nachher den Dampf verdichtet, so wird eine Flüssigkeit, welche durch ein Rohr mit dem luftleeren Raume in Verbindung steht, durch den Luftdruck gehoben. Diese Einrichtung wird z. B. angewendet, um den Syrup in den Zuckerraffinerien in den Abdampfungsraum zu bringen. *Keir* hat sie angewendet, um durch das gehobene Wasser ein oberschlächtiges Mühlrad zu treiben. Auch die bewegende Kraft der Dampfblasen, welche sich an dem erhitzten Boden eines mit einer Flüssigkeit gefüllten Kessels entwickeln und in demselben in die Höhe steigen, hat man zur Bewegung von Maschinen zu benutzen versucht. Ein aus Metallblech verfertigtes, oberschlächtiges Wasserrad wird vertikal in einem mit Flüssigkeit gefüllten Behälter so aufgestellt, dass die Flüssigkeit dasselbe ganz bedeckt. Die aufsteigenden Dampfblasen füllen nun die abwärts gekehrten Zellen des Wasserrades, und können in die auf der entgegengesetzten Seite befindlichen Zellen, welche aufwärts gerichtet und mit Flüssigkeit gefüllt sind, nicht eindringen. Das Rad wird also auf einer Seite leichter als auf der andern, und muss sich folglich umdrehen. Bei diesen Maschinen, die *Congreve* verbessert hat, wird am besten Quecksilber statt Wasser angewendet. Auch die Expansivkraft des Aetherdampfes für sich allein oder in Verbindung mit Wasserdämpfen ist zur Bewegung von Dampfmaschinen angewandt worden.

Bei der *calorischen Maschine* von *Ericson* wird statt des Dampfes erhitzte Luft angewandt. Diese Luft wird im comprimirten Zustande erhitzt, und nachdem sie durch ihre gesteigerte Espansivkraft den Kolben einer Maschine fortgeschoben hat, entweicht sie durch den aus vielen einzelnen Metallsieben bestehenden *Regenerator* in einen Behälter, wo sie auf's Neue comprimirt wird. Die Wärme, welche von ihr an den Regenerator abgegeben wurde, nimmt sie alsdann grossentheils wieder auf, indem sie durch ihn abermals unter den Kolben tritt. Nun wird sie, wie oben, noch stärker erhitzt, um abermals auf den Kolben zu wirken. *Seguin* hat, statt Luft anzuwenden, vorgeschlagen, immer mit dem nämlichen Dampf zu arbeiten, indem man diesen abwechselnd erhitzt und ausdehnt. *W. Siemens* hat hierauf eine Maschine konstruirt, in welcher der Dampf auf diese Art benutzt, aber bei jedem Kolbenhub zu $^1/_{10}$ erneuert wird. Auch bei ihr geht der übererhitzte Dampf durch einen Regenerator. Es ist kein Zweifel, dass diese und ähnliche Versuche zu Erfindungen führen werden, deren Leistungen die der bisherigen Dampfmaschinen weit übertreffen, indem bei diesen der grösste Theil der Wärme auf die Bildung des Dampfes, das heisst, Ueberwindung der Cohäsion der Wassertheilchen, und nicht auf wirkliche Arbeit verwendet wird.

Die von *Lenoir* erfundene Gasmaschine vertritt die Dampfmaschine da mit Nutzen, wo nur eine kleine Kraft nöthig ist, die man nur zuweilen braucht, wo man wenig Raum zur Aufstellung einer Arbeitsmaschine hat und das Gas, welches zur Beleuchtung dient, leicht zu haben ist. In den Arbeitscylinder wird auf die eine Seite des Kolbens eine Mischung von 1 Vol. Gas auf 16 bis 30 Vol. atmosphä-

rische Luft geleitet und durch einen elektrischen Funken entzündet. Dadurch entsteht eine schnelle Verbrennung des Gases, welche viel Wärme erzeugt und darum die Elastizität der eingeschlossenen Luft und folglich ihren Druck vervielfacht. Der Kolben wird also bewegt und nachdem er einen Theil der Länge des Cylinders durchlaufen, durch die Entzündung des gleichen Gasgemisches auf der entgegengesetzten Seite zurück — und so hin und her — bewegt.

Zu den Hochdruckmaschinen gehören auch die *Locomotive* auf Eisenbahnen. Die Abbildung in Fig. 470 gibt davon einen Begriff. *A* ist der Feuerraum; *B,B* sind die zusammenhängenden, mit Wasser gefüllten Theile des Kessels. Die erhabenern Räume desselben, besonders *C* und *D*, enthalten den Dampf. *F* ist der Dampfkasten, *E* der Dampfcylinder. *G* und *H* der Schornstein. Die Bewegung des mittleren Rades, welches sich auf der Achse *c* befindet, wird durch die Kolbenstange *Ko* und durch die Stange *oi* mittelst der Kurbel *ic* bewirkt. Das Schieberventil *g* in dem Raum *F* wird durch die Stange *ss*, welche an den Hebel *mn* befestigt ist, in Bewegung gesetzt. Dieser Hebel dreht sich um den festen Punkt *x*, hat bei *m* ein Gelenke und bei *n* zwei hervorragende starke Zapfen. In diese Zapfen greift bald das gabelförmige Eisen *n*, bald das gleichgestaltete Eisen *q* ein. Das erste ist fest an der Stange *MM*, das letzte an der Stange *NN*. Die Stange *MM* endigt sich rechts in einen kreisförmigen Ring, welcher mit Reibung, aber lose, die excentrische Scheibe *ε* umschliesst. Diese Scheibe ist fest auf der Achse des Rades und hat ihren Mittelpunkt zwischen *c* und *ε*. Die Stange *NN* endigt sich ebenso und umschliesst eine excentrische Scheibe, deren Mittelpunkt zwischen *c* und *π* liegt.

Der Feuerraum *A* wird durch die Oeffnung *a*, die mit einem Thürchen versehen ist, geheitzt und erhält die Luft durch den Rost *R* von unten. Die Flamme und die erhitzte Luft ziehen durch viele horizontale Röhren *b,b* mitten durch den Kessel in den Schornstein *GH* und geben ihre Wärme an das die Röhren *bb* umgebende Wasser ab. Der entstandene Dampf geht durch die Röhre *CC* in den Raum *n,n* durch die Oeffnungen zweier vertikalen Platten auf der linken Seite von *nn*. Die eine dieser Platten ist beweglich und kann durch die Stange *PQ* gedreht werden. Passen die Oeffnungen beider Platten auf einander, so geht von *C* das Maximum des Dampfes nach *n,n*. Die eine Platte lässt sich aber auch so stellen, dass gar kein Dampf oder nur sehr wenig durchgehen kann. Von *n,n* geht der Dampf durch das Rohr *K* in den Dampfkasten *F* und von da bald durch den Canal *f* unter den Kolben *K*, bald über denselben durch den Canal *d*. Durch das Hin- und Hergehen des Kolbens *K* und der Kolbenstange *Koi* wird die Kurbel *ic* um die Achse *c* der mittlern Räder gedreht. Weil aber gerade dann, wenn der Kolben wieder zurückzugehen anfangen soll, die Kurbel *i* in gleicher Richtung mit der Kolbenstange ist, so würde ihre Bewegung gehemmt werden, wenn nicht an der Achse eine zweite Kurbel *Jc* sich befände, welche mit der ersten einen rechten Winkel bildet, und darum noch die Bewegung nach gleicher Richtung fortsetzt. Es ist also auch noch ein zweiter Dampfcylinder, und was dazu gehört, nöthig. Zu diesem führt von dem hohlen Raum *n,n*, noch ein zweites Dampfrohr wie *k*. In der jetzigen Stellung des Kolbens *K* und des Schiebers *g* tritt der Dampf aus dem Dampfraum *F* durch den Canal *d* über den Kolben *K*, während der Dampf unter dem Kolben aus *E* durch den Canal *f* unter den Schieber *g* und von da in das Loch *e* geht, welches mit dem Rohr *h* verbunden ist. Vermöge seiner Expansivkraft strömt er in den Schornstein *H*, reisst die heisse Luft mit sich fort und vermehrt dadurch den Zug. Weil aber nun der Kolben *K* links gedrückt wird, so geht auch die Kurbel *ic* links und das Rad dreht sich also in der Richtung des Pfeiles. Die Locomotive geht dadurch *vorwärts*. Die excentrische Scheibe *cε*, welche in gleicher Richtung wie das Rad sich dreht, bewirkt eine Verschiebung der Stange *MM* nach links; dadurch wird der Hebel *mn* unten bei *n* nach links, oben bei *m* nach rechts gedreht. Die damit verbundene Schiebstange *ss* geht desshalb mit dem Schieber *g* auch rechts. So werden die Oeffnungen des Canals *f* und des Canals *d* verengt und zuletzt ganz verschlossen. Im Augenblick darauf geht der Schieber *g* noch weiter rechts und der Dampf dringt nun aus dem Dampfraum *F* durch *f* unter den Kolben *K*, während der Dampf über *K* durch *d* unter den Schieber *g* und durch *e* und *h* in's Freie entweicht. Dieses ist der Fall, wenn die Kurbel *ic* unter der Horizontallinie angekommen ist und also auch die *rechts* gehende Bewegung des Kolbens *K* die Drehung des Rades in der vorigen Richtung fortsetzt. Das *Abschliessen* des Dampfs unter und über dem Kolben erfolgt schon, ehe er seine ganze

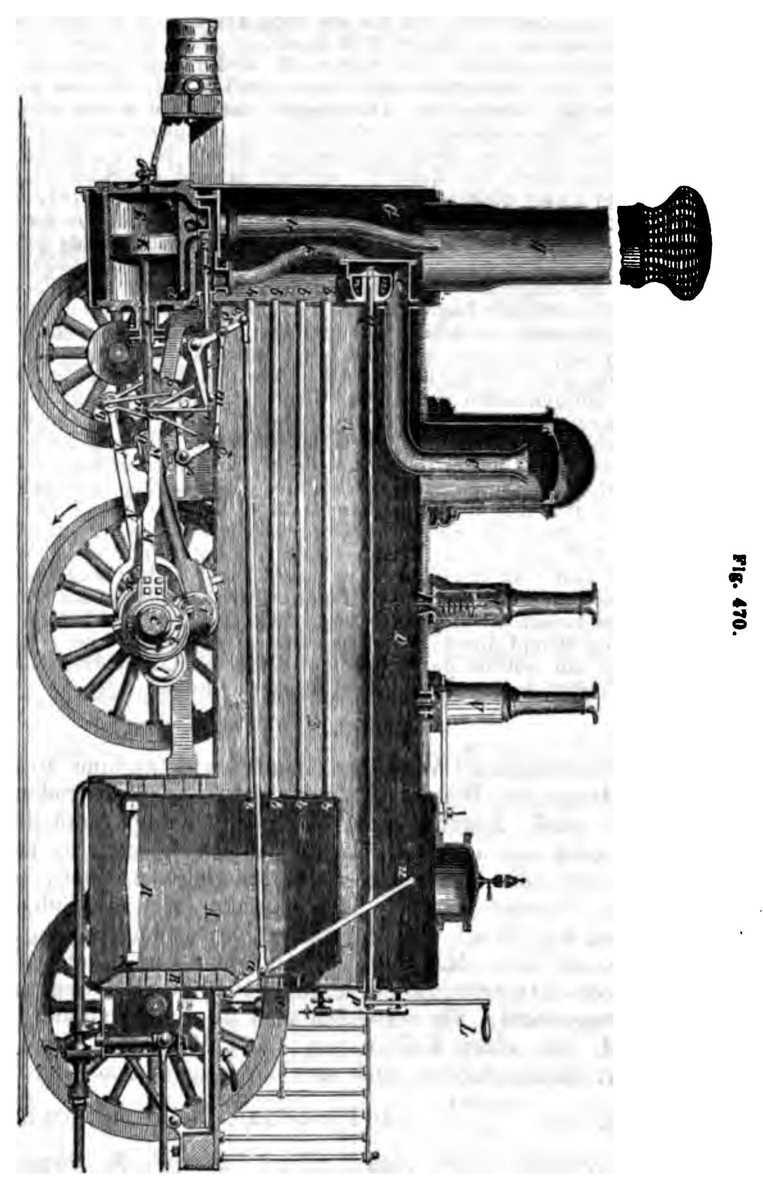


Fig. 470.

ıhn durchlaufen hat, damit keine heftigen Stösse entstehen, indem sein Widerstand
ım eines elastischen Kissens gleich ist. Die Verschiebung von g nach rechts dauert
ıch fort, nachdem die Kurbel ic schon in der horizontalen Lage links angekommen
, weil die excentrische Scheibe $c\,\varepsilon$ erst später ihre äusserste Bewegung nach links
ıllendet. Diess ist desshalb nöthig, damit die Kurbel in der untern Lage so lange
chts gedrückt wird, bis sie auch auf diesem Weg horizontal geworden ist. Die
veite Gabel q mit der Stange $N\,N$ dient zum ***Rückwärtsfahren.*** Diess wird auf
lgende Art bewirkt: Der Locomotivführer bringt den Hebel uv aus seiner jetzigen
ıge nach links, in gleich schiefe Lage nach rechts. Dadurch geht die Stange a, b,

rechts, der Winkelhebel *b, yr* dreht sich um die feste Achse *y* in gleicher Richtung und das Stäbchen *rn* drückt die Stange *MM* hinab, so dass die Gabel ausser Berührung mit dem Zapfen *n* geräth. Die Stange *dd*, wird zugleich rechts geschoben und der Winkelhebel *d, zp* dadurch um die Achse *z* rechts gedreht; also geht *p* in die Höhe und nimmt die Gabel *q* mit. Diese greift dann in den dem *n* entgegenstehenden Zapfen des Hebels *mn* und drückt ihn bei der gegenwärtigen Stellung unten *links*. Dadurch geht das obere Ende *m* des Hebels rechts und der Dampf tritt unter den Kolben durch den Kanal *f*, weil mit *m* auch der Schieber *g* rechts geht. Wenn aber in dieser Stellung der Kolben *K* rechts gedrückt wird, so muss das Rad umgekehrt wie der Pfeil sich drehen. Die excentrische Scheibe *cx* bewirkt dann, dass die Stange *NN* links und der Schieber *g* noch weiter rechts geht, während die excentrische Scheibe *cε* nun keinen Einfluss hat, indem die Gabel *n* nicht mehr in den Hebel *mn* eingreift. Will man die Maschine in Ruhe stellen, so bringt man den Hebel *uv* in vertikale Lage. Dann greift weder die Gabel *q* noch *n* in den Zapfen des Hebels *mn*; der Schieber *g* wird also nicht mehr verstellt und der Dampf wirkt immer nur von einer Seite auf den Kolben *K*.

Alle Bewegung geht, wie leicht ersichtlich, nur von der Achse des mittleren Rades aus, und die übrigen rollen nur mit und dienen zur Unterstützung. Um schnell oder langsam zu fahren, muss viel oder wenig Dampf durch das Rohr *k* in den Dampfcylinder gehen können. Indem der Locomotivführer die mit Löchern versehene Scheibe, welche den hohlen Raum *n, n*, deckt, mittelst der Kurbel *LP* und der Stange *PQ* dreht, lässt er je nach der Stellung jener Löcher bald mehr, bald weniger Dampf aus. Der Hut über dem Dampfrohr *C* hat den Zweck, zu verhindern, dass von dem durch das Sieden emporgeschleuderten Wasser etwas in die Maschine kommt. *V, V* sind Ventile, durch welche der Dampf entweicht, wenn die Spannung zu gross wird. An dem Dampfcylinder *E* sind Hähne angebracht, um das in ihm verdichtete Wasser abzulassen. Letztere werden durch eine Stange von dem Standpunkt des Locomotivführers regiert, so wie auch ein in der Nähe befindlicher Hahn, um den Dampf direct in's Freie strömen zu lassen, und endlich der Hahn *U* der Pumpe, mit welcher das Wasser aus einem der Locomotive nachfolgenden Wagen, dem Tender, in den Dampfkessel gepresst wird.

§. 350.

Um die grösstmögliche Wirkung einer Dampfmaschine zu finden, muss man die Menge des Wassers kennen, welche in jeder Sekunde im Kessel verdampft wird. Angenommen, diese sei 1 Kilogr., und das Ventil des Kessels gebe einen Druck von $1\frac{1}{2}$ Atmosphären, so ist nach der Tabelle, S. 429, die Dichte des Dampfes gleich 0,00086, und die aus einem Kilogr. Wasser gebildete Dampfmenge = 1,162 Cub.-M. Es werden also unter dem Druck von $1\frac{1}{2}$ Atmosphären oder von $1\frac{1}{2} \cdot 10333 = 15500$ Kilogr. auf den □M., jene 1000 Gr. oder Cub.-Centim. Wasser in den Raum von 1162000, folglich um 1161000 Cub.-Centim. oder 1,161 Cub.-M. ausgedehnt. Sie vermögen also in einem Cylinder, dessen Querschnitt 1 □M. ist, einen Kolben um 1,161 M. unter einem Druck von 15500 Kilogr. fortzuschieben, und ihre Wirkung ist also $15500 \cdot 1{,}161 = 18000$ Kil.-M. oder $\frac{18000}{75} = 240$ Pferdekraft. Bei Dampf von $2\frac{1}{2}$ Atm. ist die Dichte 0,001374. Ein Kilogr. gibt 0,727 Cub.-M. Dampf. Der Druck auf das □M. ist 25800 Kilogr., und die Wirkung $25800 \cdot 0{,}726 = 18730$ Kil.-M. Man sieht daraus, dass die Wirkung von 1 Kilogr. dichterem Dampf grösser ist, als die Wirkung derselben Dampfmenge bei geringerem Druck.

Während eine Maschine im Gang ist, kann sich die Dichte des Dampfes, welchen der Kessel liefert, ändern, weil diese sich nach dem zu überwindenden Widerstand richtet. Nimmt derselbe zu und ist die Heizung gleichförmig, so muss der Druck und folglich auch die Dichte

der Dämpfe grösser werden. Da aber die dichteren Dämpfe weniger Raum einnehmen, so geht der Kolben langsamer. Wird der Widerstand kleiner, so gibt der Kolben einem geringern Drucke nach, geht schneller, und erfordert mehr Dampf von geringerer Dichte. Nach einiger Zeit tritt darum in der Maschine ein anderer Beharrungszustand ein, bei welchem ihre Geschwindigkeit zwar grösser, aber die Wirkung oder die Arbeit, die ein Kilogramm Dampf liefert, so gross als früher ist. Von der verdampften Wassermenge kommt ein beträchtlicher Theil gar nicht in Anwendung, weil der schädliche Raum zwischen dem Kolben und den Schiebern zuerst mit Dampf angefüllt werden muss, ehe der Kolben in Bewegung kommt, und ein Theil des Wassers durch den Dampf mit fortgerissen und in den Cylinder übergeführt wird. Auch findet in den Zuleitungsröhren immer ein Verlust durch Verdichtung von Dampf statt. Die Summe aller dieser Verluste beträgt im Durchschnitt ohngefähr $\frac{1}{10}$ von der gebildeten Dampfmenge; es bleiben also von obigem Kilogramm nur $\frac{9}{10}$ und von seiner theoretischen Wirkung nur 240—24 oder 216 Pferdekraft übrig. Bei Hochdruckmaschinen ist dem Druck der Dämpfe auf den Kolben der Luftdruck entgegengesetzt, und bei den Niederdruckmaschinen der Druck der in dem Condensator zurückbleibenden verdünnten Luft und der Druck der in ihm enthaltenen Dämpfe. Beträgt z. B. die Temperatur des Condensators 50°, so ist nach der Tabelle, S. 429, der Druck der Dämpfe in demselben $\frac{88}{760}$ vom Luftdruck, und es bleibt also von dem Druck einer Atmosphäre nur $\frac{672}{760}$ übrig. Werden die Dämpfe im Kessel heisser als 100°, so steigt auch die Temperatur im Condensator, und der Gegendruck nimmt also gleichfalls zu. Endlich ist noch der Widerstand der Reibung der einzelnen Maschinentheile zu überwinden, welcher beim Kolben am beträchtlichsten ist, und sich nach seiner Peripherie und gleichfalls nach dem Druck der Dämpfe richtet. Der Widerstand dieser Reibung erfordert aber auch eine um so grössere Arbeit, je grösser die Geschwindigkeit oder der Weg ist, durch welchen er stattfindet. Aus diesen Ursachen ist die Berechnung der Wirkung oder des *reinen Nutzeffekts* einer Dampfmaschine von ihrer Construction und ihrem Zwecke abhängig. Wäre die Condensation vollständig und fände gar keine Reibung statt, so gäben die 640 Wärme-Einheiten, welche zur Bildung von 1 Kilogr. Dampf von 1½ Atm. Druck nöthig sind, eine Wirkung von 216 Pferdekräften. Durch die Verbrennung von 1 Kilogr. Steinkohlen werden ohngefähr 7000 Wärme-Einheiten erzeugt. Von diesen kommen bei grossen Kesseln etwa $\frac{9}{10}$ oder 6300, bei kleinen $\frac{7}{10}$ in Anwendung. Nimmt man hier die erste Zahl an, so müssen in jeder Sekunde $\frac{640}{6300}$ Kilogr. Steinkohlen verbrannt werden, um jene 640 Wärme-Einheiten oder 216 Pferdekraft zu erhalten. In einer Stunde kosten also 216 Pferdekraft

$\frac{640 \cdot 60 \cdot 60}{6300}$ oder 365 Kilogr. Steinkohlen. Für *eine* Pferdekraft wären also stündlich $\frac{365}{216}$ oder ungefähr $1\frac{3}{4}$ Kilogr. nöthig. Bei Maschinen von hundert und mehr Pferdekräften braucht man aber 2 bis $2\frac{1}{2}$ Kilogramm, und bei Maschinen von zwei bis zu zehn Pferdekräften 7 bis 5 Kilogr. in der Stunde. Nach der Menge des in jeder Minute verbrauchten Dampfes richtet sich die Oberfläche des Kessels. Bei Maschinen von niederem Druck rechnet man gewöhnlich auf 1 □M. Fläche des Kessels $\frac{2}{3}$ Kilogr. Dampf, und bei hohem Druck und möglichst lebhaftem Feuer 2 bis 3 Kil. Dampf.

Für Niederdruckmaschinen kann man den Nutzeffekt näherungsweise nach folgender Anleitung berechnen: Beträgt die Menge des verdampften Wassers in 1 Secunde z. B. 4000 Gr. oder 0,0004 Cub.-Meter, so bleiben wegen obigen Verlusts $\frac{9}{10}$ oder 0,00036 Cub.-Meter übrig. Der Druck des Dampfs im Kessel und Cylinder betrage $1\frac{1}{2}$ Atmosphären oder 1,55 Kilogr. auf ein □Centim., also 15500 Kilogr. auf den □M., und der Gegendruck im Condensator 2800 Kilogr., so ist der wirksame Druck 12700 Kilogr. Bei $1\frac{1}{2}$ Atmosphären Druck nimmt der Dampf nach dem Frühern einen 1162mal grössern Raum ein, also geben 0,00036 Cub.-M. Wasser 1162 . 0,00036 oder 0,418 Cub.-M. Dampf. Ist nun der Durchmesser des Dampf-Cylinders 80 Cent. oder die Oberfläche desselben 0,5024 □M., so ist die Dampfmenge 0,418 C.-M. im Stand, diesen Cylinder in jeder Secunde bis zur Höhe $\frac{0,418}{0,502}$ oder 0,83 M. zu füllen. Diess ist die Geschwindigkeit des Kolbens. Die Wirkung ist aber das Produkt aus dem Weg 0,83 in den Druck 0,502 . 12700 Kilogr. oder 5291 Kil.-M. Hiervon ist die Grösse des Reibungswiderstandes abzuziehen. Nach einigen Erfahrungen soll die Reibung der unbelasteten Maschine dem Umfang des Kolbens proportional sein, und wenn dieser mit $d\pi$ bezeichnet und in Metern angegeben wird, durch $d\pi$. 110 Kilogr. ausgedrückt werden. Diess macht bei 80 Cent. 0,80 . 3,14 . 110 oder 280 Kilogr. Die Reibung der belasteten Maschine soll nur $\frac{1}{7}$ vom Druck auf den Kolben, der stets dem Widerstand gleich ist, mehr betragen, also $\frac{1}{7}$. 12700 . 0,502 = 910 Kilogr. Folglich wäre die ganze Reibung 910 + 280 = 1190 Kilogr. Diese mit dem Weg 0,83 multiplicirt, gibt die Arbeit 1190 . 0,83 oder 987 Kil.-M. Zieht man diese von der Wirkung des Dampfes ab, so bleibt der Nutzeffekt 5291 — 987 = 4304 Kil.-M. oder $\frac{4304}{75}$ = 57 Pferdekraft. Bei Hochdruckmaschinen kann man eben so rechnen, nur muss von dem Dampfdruck eine Atmosphäre abgezogen werden. Bei Expansionsmaschinen ist auf gleiche Art die Arbeit zu suchen, welche der Dampf verrichtet, so lange er nicht abgesperrt ist, und zu der Arbeit zu addiren, die er noch mit abnehmender Kraft verrichtet, während der Kolben den Rest seiner Bahn durchläuft.

§. 351.

Die Dampfmaschine hat die Veranlassung gegeben zu der Idee, dass durch die Wärme-Einheit (vergl. §. 309) eine gewisse Arbeitsgrösse (vergl. §. 74) vorgestellt werde. Nachdem *S. Carnot* die Ansicht ausgesprochen, dass immer, wenn Arbeit durch Wärme geleistet wird, eine dieser Arbeit entsprechende Wärmemenge von einem warmen zu einem kalten Körper übergeht, hat zuerst *Mayer* in Heilbronn in vollständig klarer Weise den Satz aufgestellt, *dass eine Wärme-Einheit durch Ausdehnung oder auf andere Weise eine bestimmte Arbeit, und zwar 367 Kil.-Meter, zu leisten im Stande sei.* Betrachtet man die Wärme als eine

Materie, so kann sie nicht durch Arbeit erzeugt, wohl aber aus dem latenten Zustand in den freien versetzt werden; wie z. B. wenn Luft in einen engern Raum zusammengedrückt wird. Betrachtet man aber die freie Wärme als Folge von Schwingungen und andern Bewegungen des Aethers und der materiellen Theilchen des Körpers, so sieht man auch leicht ein, dass sie durch mechanische Arbeit müsse hervorgebracht werden können. In diesen Fällen offenbart sich die Arbeit als Erwärmung. Ein Theil der Arbeit kann aber auch zu latenter Wärme werden, indem er zur Ueberwindung von Widerständen verwendet wird. Diese Widerstände können innere sein, wie z. B. wenn Wasser im luftleeren Raume in Dampf verwandelt wird, und also die Cohäsionskraft der Atome zu besiegen ist, und ein neuer Aggregat- oder Gleichgewichtszustand derselben eintritt. Die Widerstände können auch äussere sein, wie z. B. wenn ein Gas sich ausdehnt, und folglich den Luftdruck überwindet. Es ist darum die sichtbare Arbeit, welche die Wärme leistet, oft nur ein geringer Theil von der wirklichen Arbeit, die sie geleistet hat.

Clapeyron, *Joule* und Andere haben zu zeigen gesucht, dass *die Grösse der von der Wärme-Einheit geleisteten Arbeit (*das *Arbeitsäquivalent) immer dieselbe sei*, auf welchem Wege auch diese Wärmemenge verwendet worden sein mag, und dass umgekehrt die nämliche Arbeitsgrösse auch stets dieselbe Wärmemenge hervorbringe, wenn nur alle Verluste gehörig berücksichtigt werden. Berechnet man aus den Wirkungen des Wasserdampfs dieses Aequivalent, so findet man es, nach *Clapeyron*, *C. Holtzmann* und *Thomson*, grösser als 400 Kil. Meter, oder es ergibt sich, dass durch die Wärme, die nöthig ist, um 1 Kilogr. Wasser um 1° C. zu erwärmen, mehr als 400 Kil. 1 Meter hoch gehoben werden können.

Aus der Erwärmung von Wasser mittelst eines Drahtes, durch welchen der Strom einer magneto-elektrischen Maschine ging, und der auf die Drehung dieser Maschine verwendeten Arbeit fand *Joule*, dass durch 460 Kil.-Meter Arbeit 1 Wärme-Einheit erzeugt werde. Die durch Zusammendrückung der Luft frei werdende oder durch ihre Ausdehnung verschluckt werdende Wärme ergab nach seinen Versuchen als Aequivalent 438 Kil. Meter. Ferner fand *Joule*, dass die auf Reibung verwendete Arbeit gleichfalls der erzeugten Wärme proportional ist, und dass sowohl durch Reibung von Wasser als von Quecksilber oder Gusseisen die Wärme-Einheit durch ohngefähr die gleiche Arbeit von 425 Kil. Meter erzeugt worden. Endlich ist auch durch die auf das obige Prinzip des Wärmearbeitsäquivalents gegründete mathematische Wärmetheorie von *Clausius*, *Thomson* und Andern bereits Manches über die Beziehungen zwischen Wärmemenge, Temperatur, Volumen und mechanischer Arbeit aufgeklärt worden. Es scheint demnach sehr wahrscheinlich, dass der Wärme-Einheit obiges Arbeits-Aequivalent von ca. 400 Kil. Meter unter allen Umständen entspricht, und dass dadurch ein neues Maass für die Naturkräfte gefunden ist.

In der Wärme besitzen wir nach dem Obigen eine sehr grosse mechanische Kraft. Wo ein Theil derselben vollständig auf Arbeit verwendet wird, verschwindet er und erzeugt Bewegung oder andere Veränderungen. Die Menge der Wärme, die eine Dampfmaschine braucht,

welche Arbeit verrichtet, ist grösser als diejenige, die man durch die Condensation des Dampfes erhält, wenn sie leer geht. Es wird dabei exact das obige Aequivalent Wärme für die geleistete Arbeit verloren. Ebenso wird eine Kanone, die eine Kugel fortschleudert, durch's Abfeuern weniger heiss, als beim blinden Schuss. Nun können alle Veränderungen und Erscheinungen der Bewegung, des Schalls, des Lichtes, der Wärme, der Elektrizität u. s. w. durch Arbeit hervorgebracht werden, und jede dieser Arbeiten durch ein Aequivalent Wärme. Wenn z. B. ein Stein auf eine gewisse Höhe gehoben ist, so ist er gleichsam ein Kraftmagazin. Lässt man ihn herabfallen, so erzeugt er in dem von ihm getroffenen Körper Wärme und erregt Schall. Die Wärme und die in den Schallschwingungen enthaltene Wirkungsfähigkeit zusammengenommen, sind an Wirkungsfähigkeit dem erhobenen Steine gleich. Es ist also durch seinen Fall keine Kraft verloren gegangen. — Auf solchen und ähnlichen Betrachtungen beruht das *Prinzip von der Erhaltung der Kraft,* besagend, dass keine Kraft in der Natur verloren geht, und dass die Kraft ebenso ewig ist, wie die Materie. Es ist durch die Arbeiten von *Mayer, S. Carnot, Clapeyron* und Andern für mehrere Fälle, durch *Helmholtz* aber in allen Zweigen der Physik nachgewiesen worden.

Durch 2 Kil. Steinkohlen wird bei guten Dampfmaschinen die Arbeit eines Pferdes während einer Stunde, also 75 . 60 . 60 = 270000 Kil.-M, Arbeit hervorgebracht. Nun erzeugt aber die Verbrennung von 2 Kil. Steinkohlen 14000 Wärme-Einheiten und durch 14000 Wärme-Einheiten müsste die hervorgebrachte Arbeit nach dem Obigen 14000 . 400 Kil.-M. sein. Sie wäre also $\frac{14000 \cdot 400}{270000}$ mal oder 20mal grösser als die Leistung der Dampfmaschine. Diess beweisst, wie gegründet die theoretischen Einwendungen gegen die Anwendung des Wasserdampfes sind. Bei Anwendung von Gasen und überhitzten, mit dem Kessel nicht mehr in Verbindung stehenden Dämpfen, wird die Wärme blos auf die Ausdehnung, also auf wirkliche Arbeit verwendet und nicht auf die Aufhebung der Cohäsion der Wassertheilchen. Aber die Maschinen werden zu gross, so lange nicht ein Mittel gefunden ist, bei starker Compression der Luft und grosser Erhitzung die Kolben dicht zu erhalten.

Man begegnet überall Beispielen zur Bestätigung der obigen Theorie. Wird z. B. Luft in einem Gefäss bis zur achtfachen Dichte zusammengepresst, so hat man ein Magazin verwendbarer Kraft. Lässt man diese Luft nach einiger Zeit durch eine Oeffnung ausströmen, so entsteht Wärme, weil die schnelle Bewegung der materiellen Lufttheilchen als solche erscheint. Dicht bei der Oeffnung fühlt man darum an dem nahe gebrachten Finger, nach *Joule*, eine sehr empfindliche Hitze. Es wird aber auch Arbeit auf die Ausdehnung der Luft verwendet, die in einiger Entfernung von der Oeffnung bemerklich wird, und Kälte hervorbringt; in 2 bis 3 Zoll Abstand gleichen Wärme und Kälte sich aus bis auf einen kleinen Ueberschuss an letzterer.

Nach *Edlund* verschwindet bei der Spannung eines Drahtes durch Gewichte ein Theil seiner Wärme; hört die Spannung auf, hört er also auf ein Kraftmagazin zu sein, so erwärmt er sich wieder.

F. Von der Wärme-Capacität und Calorimetrie.

§. 352.

Wenn man eine Flüssigkeit von einer gewissen Temperatur mit einer bekannten Menge derselben Flüssigkeit von einer andern Temperatur vermischt, so lässt sich die Temperatur der Mischung voraus bestimmen. Nimmt man nämlich die Wärmemenge, welche erfordert wird,

um z. B. 1 Pf. Wasser von 0° um 1° zu erwärmen, zur Einheit an, so ist die Wärme, welche man braucht, um 1 Pf. Wasser von 0° um 20° zu erwärmen, gleich 20, und für 6 Pf. Wasser von 20° gleich 120. Ebenso muss die Wärmemenge in 9 Pf. Wasser von 10° gleich 90° sein. Folglich ist die Wärmemenge in der Mischung jener 6 Pf. mit diesen 9 Pf. gleich 120 + 90 oder 210, und da sie unter 6 + 9 oder 15 Pf. vertheilt wird, so kommt auf jedes Pfund die Wärmemenge 14, oder die Temperatur der Mischung ist 14°.

Haben also die Quantitäten M und m einer Flüssigkeit die Temperaturen T und t, so ist die Temperatur der Mischung $= \frac{MT + mt}{M + m}$. Diese Formel heisst die *Richmann'*sche Regel. Sie gründet sich auf die in der Praxis annehmbare Regel, dass man gleichviel Wärme braucht, um 1 Kilogr. Wasser von 0° bis 1° zu erwärmen, als um es von $n°$ um 1° zu erwärmen. Vergl. pag. 435 unten.

§. 353.

Bei der Mischung *verschiedenartiger* Flüssigkeiten oder beim Zusammenbringen fester Körper mit Flüssigkeiten kann man die im vorigen §. angegebene Methode, um die Temperatur der Mischung zu berechnen, nicht mehr anwenden, indem solche Körper, selbst bei gleichem Gewichte und gleicher Temperatur, dennoch eine sehr verschiedene Wärmemenge enthalten können. Wenn man z. B. 1 Pf. Wasser von 7° mit 1 Pf. Quecksilber von 109° vermischt, so nimmt die Mischung nur eine Temperatur von 10° an. Das Quecksilber gibt also dem Wasser 99° Wärme ab, und diese bringen in ihm nur eine Temperatur-Erhöhung von 3° hervor. Das Wasser enthält also bei gleichem Thermometerstande 33mal so viel Wärme als das Quecksilber. Man sagt darum, die *Wärme-Capacität* oder das Vermögen des Wassers, Wärme zu binden, sei 33mal grösser als die des Quecksilbers; oder wenn man die Wärme-Capacität des Wassers gleich 1 setzt, so ist die des Quecksilbers gleich $^1/_{33}$ oder 0,0303. Durch eine solche Mengung der Substanzen kann man die Wärme-Capacität fester und flüssiger Körper ziemlich genau finden, nur muss man das Wasser in Gefässe von sehr geringer Masse bringen, und die Mengung flüssiger Körper mit dem Wasser, oder das Eintauchen fester in dasselbe sehr schnell vollbringen. Die Wärme-Capacität des Quecksilbers wird bei jeder mit einem Quecksilber-Thermometer gemessenen Temperatur, von 0° bis 100° gleich gross gefunden. Diess beweist, dass die Wärmemenge, die es annimmt, der Anzahl der Grade oder seiner Ausdehnung proportional ist.

§. 354.

Unter der *spezifischen Wärme* versteht man die Wärmemenge, welche ein Körper von der Masse 1 braucht, damit seine Temperatur um 1° C. steigt. Als *Einheit* braucht man dabei nach §. 309 die Wärmemenge, welche 1 Kil. Wasser von 0° braucht, damit seine Temperatur um 1° erhöht wird. Bei andern ist die Gewichtseinheit nur 1 Gramm. Der Zusammenhang lässt aber jedesmal leicht erkennen, welche Einheit gemeint ist. Da die Wärme-Capacität in gleichem Verhältniss mit der Wärmemenge wächst, die erforderlich ist, um eine bestimmte Masse um 1° zu erwärmen, so ist sie der spezifischen Wärme proportional, und

daher ein gleichbedeutender Ausdruck. Bezeichnet man die spezifische Wärme oder die Wärme-Capacität eines Körpers durch c, so sind mc Wärme-Einheiten nöthig, um m Kil. dieses Körpers um 1° zu erhöhen, und mct Wärme-Einheiten, damit er um t Gr. erwärmt wird.

Um nun die spezifische Wärme eines Körpers zu bestimmen, erhitzt man ihn bis zu einer gewissen Temperatur und bringt ihn dann in ein Gefäss mit Wasser, dessen Temperatur man kennt. Nach erfolgter Mengung und eingetretener gleichförmiger Temperatur ergibt sich die spezifische Wärme des Körpers auf folgende Art: Es sei das Gewicht des Körpers $= m$, seine Temperatur vor der Mischung $= t$ und seine spezifische Wärme $= c$. Ferner das Gewicht des Wassers, dessen spezifische Wärme $= 1$ ist, $= m'$, seine und des Gefässes Temperatur $= t'$, das Gewicht des letztern $= a$ und seine spezifische Wärme $= b$. Das Gewicht des eingetauchten Thermometers $= e$ und seine spezifische Wärme $= d$; endlich die Temperatur der Mischung $= \tau$; so hat der Körper m, indem er von t^0 auf τ^0 erkaltete, die Wärmemenge $mc\,(t-\tau)$ verloren. Das Wasser, das Gefäss und das Thermometer haben aber die Wärmemenge $(m' + ab + ed)\,(\tau - t') = s\,.\,(\tau - t')$ gewonnen. Da nun Gewinn und Verlust gleich sein müssen, so ist

$$mc\,(t-\tau) = s\,(\tau-t')$$

also

$$c = \frac{s\,(\tau - t')}{m\,(t-\tau)}.$$

Den Ausdruck $m' + ab + ed = s$ nennt man die *corrigirte Wärmemenge.*

§. 355.

Indem Quecksilber 13,6mal dichter ist als Wasser, so wiegt 1 Cub.-Fuss Quecksilber 13,6mal so viel als 1 Cub.-Fuss Wasser. Nimmt man nun die Wärmemenge, welche 1 Cub.-Fuss Wasser um 1° erwärmt, zur Einheit an, so ist die Wärmemenge, welche *eine gleiche Masse* Quecksilber um 1° erwärmt, nach dem §. 353 gleich $^1/_{33}$, und die Wärmemenge, welche 13,6mal so viel Quecksilber, oder ein *gleiches Volumen* um 1° zu erwärmen vermag, gleich $\frac{13,6}{33}$ oder 0,4121. Diese Zahl 0,4121 heisst die *relative Wärme* des Quecksilbers, und man findet also die relative Wärme, wenn man die Wärme-Capacität mit dem spezifischen Gewicht multiplicirt.

§. 356.

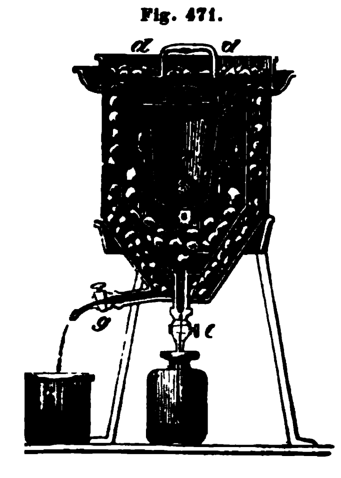
Dulong und *Petit* bestimmten die Wärme-Capacität, indem sie die bis zu *gleichen* Temperaturen erwärmten Körper um eine gleiche Anzahl Grade, in einem polirten Gefässe von Silber, erkalten liessen. Das Gefäss enthielt zum Beobachten der Temperatur ein Thermometer, und befand sich in einer Kugel, welche man luftleer machte. Die verschiedenen Erkaltungsgeschwindigkeiten können bei diesen Versuchen, wegen des geringen Umfangs der Körper, in keiner merklichen Abhängigkeit von ihrem Wärmeleitungsvermögen stehen, und hängen daher bloss von der Dichtigkeit der Körper, ihrer Wärme-Capacität und dem Strahlungs-Vermögen ihrer Oberflächen ab. Der Einfluss des letztern ist jedoch

dadurch beseitigt, dass man alle in einem polirten Gefässe von Silber erkalten liess.

Weil letzteres stets vollkommen mit dem flüssigen oder pulverisir- ;en Körper angefüllt wurde, so waren die Volumina gleich, und die Ge- vichte verhielten sich also wie die Dichtigkeiten der Körper. Angenommen, es seien 15 Gr. des einen Körpers in 7 Sec. von 20° auf 15°, und :benso 12 Gr. des andern Körpers in 9 Sec. von 20° auf 15° erkaltet, ınd die Wärme-Capacität des ersten sei c, die des andern c'; so hat ler erste nach §. 354 die Wärmemenge $15 . c . 5$, und der andere die Värmemenge $12 . c' . 5$ verloren. Da man nun annehmen kann, dass lie Silberkugel in gleichen Zeiten gleich viel Wärme ausgestrahlt hat, ınd der erste Verlust in 7, der zweite in 9 Sec. stattfand, so ist der 'erlust beider Körper in 1 Sec. gleich, oder $\frac{15 . c . 5}{7} = \frac{12 . c' . 5}{9}$ ıder $c : c' = \frac{7}{15} : \frac{9}{12}$, daraus folgt, dass sich unter diesen Umständen ie *Wärme-Capacitäten wie die Erkaltungszeiten, dividirt durch die Dichtigkeiten, verhalten.* Dieses Verfahren ist jedoch nicht genau, weil man ıicht wohl annehmen kann, dass die Erkaltung durch alle Theile der ubstanz gleichmässig vor sich geht.

Noch weniger genau ist die Bestimmung der Wärme-Capacität urch die Menge des Eises, welche ein bis zu einer gewissen Tempera- ır erhitzter Körper zu schmelzen vermag. Man bedient sich dabei des *'alorimeters* von *Laplace* und *Lavoisier*, Fig. 471. Es besteht aus drei in einander steckenden metallenen Gefässen, die durch kleine Drähte in gehöriger Entfernung von einander gehalten werden. Das innerste a ist von Draht geflochten, und dient zur Aufnahme des zu untersuchenden Körpers; der Raum bb zwischen diesem und dem nächsten ist mit fein gestossenem Eise angefüllt; ebenso der Raum zwischen diesem und dem dritten, damit die Temperatur der Luft keinen Einfluss hat. Auf den Deckel dd wird ebenfalls Eis gebracht. Durch den Hahn e an dem zweiten Gefässe wird das in b geschmolzene Eis abgelassen, wenn der Körper in a bis zur Temperatur des Eises erkaltet ist. Durch g fliesst das durch die Luftwärme geschmolzene Wasser ab. Flüssige Körper bringt man in ein Metallgefäss, dessen spezifische Wärme man ›rher bestimmt hat. Wenn der flüssige Körper und das Gefäss bis ıf 0° erkaltet sind, so zieht man von dem Gewichte des geschmolzenen ises das ab, was durch das Gefäss allein hätte geschmolzen werden üssen.

Fig. 471.



Nennt man die im Calorimeter geschmolzene Menge des Eises in funden n, die Capacität des Körpers c, seine anfängliche Temperatur t ıd seine Masse in Pfunden m, so ist die Wärmemenge, welche die

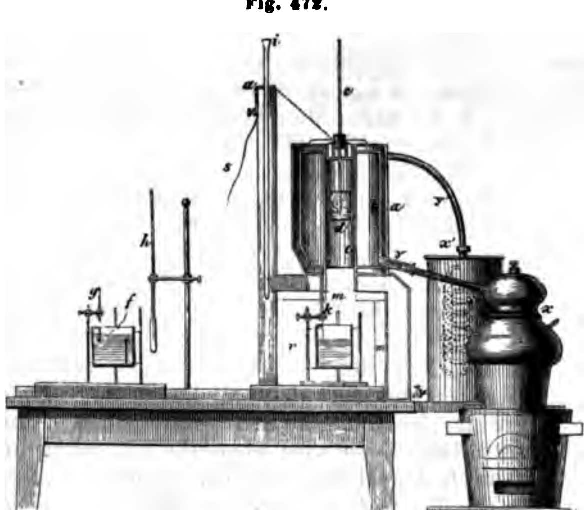
m Pfunde jenes Körpers enthalten, $= mct$; da aber die Wärmemenge, welche nöthig ist, um 1 Pf. Eis zu schmelzen, nach §. 334 gleich 79 Wärme-Einheiten ist, so braucht man zu n Pf. Eis 79 n Wärme-Einheiten; daher wird $mct = 79n$; folglich

$$c = \frac{79n}{mt}.$$

Regnault hat in der neuern Zeit die Mischungsmethode (§. 353) zur Bestimmung der spezifischen Wärme mit vielem Erfolge angewendet, indem er die zu untersuchenden Körper in einem durch Wasserdämpfe gleichförmig erhitzten Raume erwärmte und in Wasser oder Oel von bekannter Temperatur brachte. Aus der Temperatur der Mischung und der spezifischen Wärme des Wassers oder Oeles berechnete er sodann auf die im §. 354 angegebene Art die spezifische Wärme des eingetauchten Körpers.

Regnault's Apparat, Fig. 472, besteht aus einem Cylinder von Messing b zum Erwärmen des Körpers. Derselbe hat drei Umhüllungen. Zwischen a und b ist Luft und Watte, zwischen b und c Wasserdampf und im Innern c wird der zu untersuchende Körper in einem Körbchen d von Messingdraht aufgehängt. Der Dampf wird aus einem kleinen Kessel x, in dem sich siedendes Wasser befindet, in den Raum b geleitet und geht durch das Rohr y' in eine spiralförmige Röhre, die sich in einem mit kaltem Wasser gefüllten Gefäss befindet. In der Mitte des Körbchens ist ein cylindrisches Drahtgeflecht, um das Thermometer e aufzunehmen, welches oben in einem Kork befestigt ist. Das Wasser zur Mischung ist in einem Messinggefäss f. Seine Temperatur wird durch das Thermometer g angegeben. Ein anderes in der Nähe befindliches Thermometer h gibt die der Luft an. Das Gefäss f steht auf einem Wägelchen, welches auf einer Eisenbahn schnell in den Raum v gebracht werden kann, wenn die Scheidewand i, welche in zwei Nuten beweglich ist, in die Höhe gehoben wird. Bei k ist ein Schieber, welcher den Raum c von v abschliesst. Sobald das Thermometer e und also auch der Körper im Körbchen d eine constante Temperatur angenommen haben, lässt man das letztere an einer Schnur in das Wasser herab, zieht das Wägelchen nach f zurück und lässt die Scheidewand i wieder fallen. Während das Wägelchen in v war, wurde es durch das rechtwinklicht gebogene Wassergefäss mm vor der Wärme des Kessels x geschützt. Das Wasser in f wird nun umgerührt und die höchste Temperatur, die es annimmt, so wie die Dauer des Versuchs, beobachtet.

Fig. 472.



Ist s die corrigirte Wärmemenge, m das Gewicht des Körpers und μ die corrigirte Wärmemenge des Körbchens, t die Temperatur beider in erhitztem Zustand vor der Mischung, t' die des Wassers vor derselben und τ das Maximum der Temperatur nach der Mischung, so ist wieder $(mc + \mu)(t - \tau) = s(\tau - t')$.

Das Wasser in f nimmt während der Zeit von der Beobachtung seiner Temperatur t' an aus der Luft Wärme auf, wenn letztere bis zur Mischung höher und $= t''$ geworden ist. Es verliert Wärme in dem Augenblick, wo die Mischung stattfand, bis zu dem, wo die Beobachtung des Maximums stattfand. Ist nun $t'' - t' = g$ und $\tau - t'' = g'$; ferner die Dauer von der Beobachtung des t' bis zur Mischung $= z$, und die von der Mischung bis zur Beobachtung des $\tau = z'$ Secunden, und hat man gefunden, dass das Gefäss bei z. B. 60° Wärmeüberschuss über die Temperatur der Luft in 100 Secunden um 10° erkaltet, folglich bei 1° Ueberschuss in 1 Sekunde etwa um $\frac{10}{60 \cdot 100}$ Gr. $= a$ Gr. erkaltet, so nimmt es in z Sekunden aus der Luft auf die Wärmemenge zga und verliert in z'Secunden die Wärmemenge $z'g'a$. Von diesem Verlust darf man nach *Regnault* nur ³/₄ nehmen. Hätte es nun in der Luft keinen Gewinn und keinen Verlust gehabt, so hätte es nach gleichförmiger Mischung der Wärme die Temperatur $\tau' = \tau + \frac{3}{4} z'g'a - zga$ haben müssen. Diesen Werth setzt man statt τ als die Temperatur des Wassers und des Gefässes, aber nicht als die des Körpers, der in's Wasser eingetaucht ist; dann muss

$$(mc + \mu)(t - \tau) = s(\tau' - t'),$$

folglich
$$c = \frac{s(\tau' - t')}{m(t - \tau)} - \frac{\mu}{m} \text{ sein.}$$

Auf diese Art fand *Regnault* folgende Mittelwerthe für die spezifische Wärme von

Wasser	1,0000	Zinn	0,0564
Eis	0.505	Platin	0,0324
Eisen	0,1138	Gold	0,0324
Zink	0,0955	Kalium	0,1696
Kupfer	0,0951	Natrium	0,2934
Silber	0,0570	Schwefel	0.2026
Arsenik	0,0814	Kohle	0,2411
Blei	0,0314	Quecksilber	0,0333
Wismuth	0,0308	Jod	0,0541
Antimon	0,0507		

Die spezifische Wärme einiger zusammengesetzten Körper ist nach ihm und Andern:

Glas	0,1937	Salpetersäure	0,6610
Messing	0,0939	Salzsäure	0,6200
Terpentinöl	0,4672	Leinöl	0,5280
Kochsalz	0,2260	Alkohol	0,7000
Schwefelsäure	0,3350	Thierkohle	0,2608

Das Wasser hat also von allen festen und tropfbar-flüssigen Körpern die grösste spezifische Wärme.

Aus der obigen Tabelle sieht man z. B., dass eine Masse Silber, deren Temperatur um 1° sinkt, dabei so viel Wärme verliert, als nöthig wäre, um die Temperatur einer gleichen Wassermasse um 0,057° zu erhöhen.

Die spezifische Wärme des Erdbodens ist ohngefähr 0,25 von der des Wassers. Hieraus ergibt sich die schnellere Erkaltung der Erde und zum Theil auch der Einfluss grosser Gewässer auf das Klima eines Landes.

Obgleich, wie oben bemerkt wurde, die Bestimmung der spezifischen Wärme durch das Schmelzen des Eises nicht die genaueste ist, so ist doch das Calorimeter mehrerer Anwendungen fähig, welche die Methode der Mengungen, und die von *Dulong* und *Petit* nicht gestatten; wie z. B. bei Untersuchung der Wärmemenge, welche die Körper beim Uebergange vom flüssigen Zustande in den festen abgeben, und der Wärme, welche durch das Athmen der Thiere entwickelt wird.

Dulong und *Petit* haben gefunden, dass die Wärme-Capacität fester und flüssiger Körper mit der Temperatur zunimmt; so ist z. B. die des Quecksilbers bei 100° C. gleich 0,033 und bei 300° C. gleich 0,035, und aus den Untersuchungen von *Regnault* ergibt sich, das die spezifische Wärme eines festen Körpers nicht dieselbe ist, wie die desselben Körpers im flüssigen Zustand. So ist sie z. B. für festes Zinn $= 0{,}0562$ und für flüssiges 0,0637. Noch grösser ist der Unterschied bei Eis und Wasser. Die spezifische Wärme des ersten ist nach *Person* 0,504, während die des Wassers $= 1$ ist. Die spezifische Wärme des letztern nimmt um so mehr zu,

je heisser es wird, und wird z. B. bei t^0 C., wie schon im §. 343 bemerkt wurde, von *Regnault* ausgedrückt durch

$$c = 1 + 0{,}00004\,t + 0{,}0000009\,t^2.$$

Ausserdem ändert sich die spezifische Wärme der Körper bei jeder Agregats-Veränderung, wie z. B. auch durch Hämmern, Ausglühen, Strecken, Winden u. dgl.

§. 357.

Um die Wärme-Capacität der Gase zu finden, erwärmten *Delaroche* und *Bérard* das Gas in einem von heissem Wasser umgebenen Gefässe, und nachdem das Gas bis zu einer bestimmten Temperatur erhitzt war, liessen sie es durch eine schlangenförmig gewundene Röhre gehen, welche sich in einem mit Wasser gefüllten Cylinder befand. Indem das Gas einen Theil seiner Wärme an das Wasser in dem Cylinder abgab, musste seine Temperatur sinken, und die des Wassers zunehmen. Je mehr Gas nun, dem Gewichte nach, von einer gewissen Temperatur nöthig war, um die Temperatur des Wassers um eine bestimmte Anzahl Grade zu erhöhen, desto geringer musste die Wärme-Capacität des Gases sein. Dabei wurde, um den Wärme-Verlust, welchen das Wasser durch die umgebende Luft erleiden konnte, zu beseitigen, die Vorsicht gebraucht, dasselbe von einer solchen Temperatur zu nehmen, dass es vor dem Versuch um eben so viele Grade kälter als die umgebende Luft war, als es durch denselben wärmer wurde. Aus dem Gewicht des Wassers und seiner Temperaturzunahme, so wie aus dem des Gases und seiner Temperaturabnahme ergab sich die spezifische Wärme der Gase. Dafür hat *Regnault* folgende Zahlen mittelst seiner genauen Untersuchungen gefunden.

Einfache Gase:

Sauerstoff	0,2182	Wasserstoff	3,4046
Stickstoff	0,2440	Chlor	0,1214

Wenn man diese Zahlen, sowie die spezifische Wärme der Luft durch das spezifische Gewicht der einfachen Gase multiplicirt, so erhält man fast gleiche Zahlen als relative Wärme. *Gleiche Volumina brauchen also nahezu gleich viel Wärme.* Diess findet nicht statt für

Zusammengesetzte Gase und Dämpfe:

Atmosphärische Luft .	0,2377	Wasserdampf	0,4750
Stickstoffoxydul . . .	0,2238	Ammoniak	0,5080
Stickstoffoxyd . . .	0.2315	Alkoholdampf . . .	0,4513
Kohlenoxyd	0,2479	Aether	0,4810
Kohlensäure	0,2164	Schwefelkohlenstoff .	0,1575
Sumpfgas	0,5929	Terpentinöl	0,5061
Oelbildendes Gas . .	0,3694	Chloroform	0,1568

Um also z. B. 1 Pf. Wasser um 1° zu erwärmen, ist ohngefähr eben so viel Wärme nöthig, als um 4 Pf. Luft um 1° zu erwärmen. Bei diesen Messungen konnten die erwärmten Gase sich ausdehnen, bis ihre Expansivkraft dem Luftdruck gleich war, und es geben darum obige Zahlen die *spezifische Wärme bei constantem Druck und veränderlichem Volumen* an. Die spezifische Wärme des Wasserdampfs ist nach dem Obigen merkwürdiger Weise nicht einmal die Hälfte von der des Wassers und ohngefähr eben so gross als die des Eises.

§. 358.

Dulong und *Petit* haben über den Zusammenhang der spezifischen Wärme und der Mischungs- oder Atomgewichte fester und flüssiger Kör-

per folgende wichtige Entdeckung gemacht, welche durch *Regnault's* neuere Untersuchungen noch grössere Allgemeinheit erhalten hat: Wenn man das Atomgewicht eines einfachen Stoffes durch die spezifische Wärme desselben multiplicirt, so erhält man als Produkt eine constante Zahl, oder die Atomgewichte verhalten sich umgekehrt, wie die spezifischen Wärmen. Man kann demnach die spezifische Wärme eines chemisch einfachen Körpers finden, wenn man jene constante Zahl durch das Atomgewicht des Körpers dividirt. Ferner haben nach den Untersuchungen von *Regnault* fast alle, nach gleichen Atomverhältnissen zusammengesetzten isomorphen Verbindungen solche spezifische Wärmen, welche ihrem Atomgewicht verkehrt proportional sind, und in vielen Fällen ist die spezifische Wärme einer Verbindung annäherungsweise gleich der Summe der spezifischen Wärme aller Atome.

Weil das Produkt des Atomgewichts in die spezifische Wärme die Menge der Wärme ist, welche ein Atom braucht, damit seine Temperatur um einen Grad steigt, *so brauchen alle Atome der einfachen Körper unter sich dazu eine gleiche Wärmemenge*, und eben so alle Atome von gleicher atomistischer und chemischer Zusammensetzung unter sich eine gleiche, aber von der obigen verschiedene Wärmemenge.

Das obige Produkt schwankt für einfache Körper zwischen den Zahlen 2,8 und 3,2, wenn man das Atomgewicht des Wasserstoffs wie in Seite 25 als Einheit zu Grunde legt. So ist es z. B. für Schwefel $15 \times 0{,}2026 = 3{,}23$, für Eisen $27{,}2 \times 0{,}1138 = 3{,}09$, für Kupfer $31{,}8 \times 0{,}0951 = 3{,}02$.

§. 359.

Da nun bei den Versuchen über die spezifische Wärme der Gase der Druck unverändert blieb, während ihr Volumen bei zunehmender Erwärmung sich änderte, so erhielt man also nur ein Resultat, welches ihre Capacität bei beständigem Drucke und veränderlichem Volumen angab. Die spezifische Wärme bei constantem Volumen und veränderlichem Druck muss aber nothwendig davon verschieden sein, denn wenn sich ein Gas nicht ausdehnen kann, so wird es sich leichter erwärmen lassen, als wenn es während der Erwärmung sich unter Ueberwindung eines Widerstandes in einen grössern Raum ausdehnt. Bezeichnet man die spezifische Wärme eines Gases *bei constantem Druck* durch c, und die spezifische Wärme desselben *bei constantem Volumen* durch c', so ist nach §. 183 die Geschwindigkeit des Schalls in einem Gas von der Dichte d und bei dem Quecksilberdruck h gleich $\sqrt{\frac{9{,}81 \,.\, hk}{d}}$ Meter, wo k das Verhältniss $\frac{c}{c'}$ bedeutet. Da man nun nach §. 192 die Geschwindigkeit des Schalls in verschiedenen Gasen durch den Ton einer Pfeife finden kann, so ist dadurch auch k oder $\frac{c}{c'}$ bekannt. Seine Bestimmung ist aber mit grossen Schwierigkeiten verknüpft. *Dulong* fand, dass

$$\frac{c}{c'} = 1{,}415.$$

Dieses Verhältniss ist von der Temperatur der Gase unabhängig.

G. Von den Quellen der Wärme und der Verbindung der Wärme mit Licht.

§. 364.

Aus den im vorigen Abschnitt angegebenen Ursachen des Entstehens von Wärme sind noch als Quellen der Wärme anzusehen: die Sonne und der Weltraum, die Erde, Molekularveränderungen, der Magnetismus, die Elektrizität, der Lebensprozess und die Verbrennung.

§. 365.

Die Erfahrung lehrt, dass die mit den leuchtenden Strahlen der *Sonne* verbundenen Wärmestrahlen um so erwärmender sind, je mehr der Winkel, unter welchem sie auffallen, sich einem rechten Winkel nähert. Diese Erscheinung erfolgt dem im §. 214 erklärten Gesetze gemäss. Daher nimmt die Wirkung der Wärme gegen die Pole der Erde ab, und ändert sich mit der Stellung der Erdachse gegen die Sonne, woraus die Veränderung der Jahreszeiten folgt. Auch die Wärmezunahme von dem Aufgang der Sonne bis zu ihrem höchsten Stande über dem Horizonte erklärt sich hieraus; doch hängt die Grösse ihrer Wirkung offenbar auch von der Dauer ihres Einflusses ab, indem die grösste Hitze nicht mit der Mittagszeit zusammenfällt, sondern etwas später eintrifft, und ebenso die heisseste Jahreszeit in diejenigen Monate fällt, in welchen die Sonne nicht mehr ihren höchsten Stand über dem Horizonte hat. — Die Vertheilung der Wärmestrahlen im Sonnenspectrum ist unter dem Abschnitte von der strahlenden Wärme gelehrt worden.

Die Wärme der Luft hat ihren Grund darin, dass sie einen Theil der leuchtenden und der wärmenden Sonnenstrahlen absorbirt. Die Lichtstrahlen aber, welche absorbirt werden, erzeugen nach §. 225 Wärme. Ein anderer Theil der Sonnenstrahlen wird von der Erde reflectirt und entweicht strahlend aus ihr, nachdem er dieselbe erwärmt hat. Auch theilt die Erde einen Theil der ihr eigenthümlichen Wärme an die Luft mit. Schon aus diesen Ursachen muss die Temperatur der Luft nach Oben abnehmen. Ein Gesetz über diese Abnahme, welche wahrscheinlich auch mit der geographischen Breite zusammenhängt, hat man aber bis jetzt noch nicht finden können; sie beträgt 1° C. auf 450 bis 700 Fuss Höhe, und scheint an der Erdoberfläche langsamer zu sein als in grössern Höhen. *Forbes* nimmt an, dass die Abnahme in geometrischem Verhältniss mit der Höhe wachse.

Das arithmetische Mittel aus den Temperaturen der Luft zu allen Stunden, oder kleinern, aber gleichen Zeitabschnitten eines Tages, nennt man die *mittlere Temperatur* des Tages, und das arithmetische Mittel aus allen mittlern Tages-Temperaturen gibt die *mittlere Jahres-Temperatur* eines Ortes; das Mittel aus einer Anzahl von Jahres-Temperaturen gibt die *mittlere Temperatur eines Ortes.* Die mittlere Tages-Temperatur erhält man nach *Kämtz* schon sehr genau durch vier Beobachtungen, die man um 4 Uhr und 10 Uhr, sowohl Morgens als Abends, anstellt. Die mittlere Jahres-Temperatur fällt nach demselben Meteorologen mit der

mittlern Temperatur der Monate April und October zusammen, und ist für denselben Ort in jedem Jahre nahezu dieselbe. Auch aus der höchsten und niedrigsten Temperatur eines Tages, welche das im §. 310 beschriebene Thermometrograph angibt, kann man die mittlere Tages-Temperatur ziemlich genau finden. Nach der mittleren Temperatur richtet sich das Klima. Wenn man auf der Erdkugel diejenigen Orte durch eine Linie mit einander verbindet, welche eine gleiche mittlere Temperatur haben, so erhält man eine *isothermische Linie.* Diese isothermische Linie müsste dem Aequator parallel sein, wenn das Klima nur durch die Entfernung eines Ortes vom Aequator, und nicht auch durch seine Höhe, durch die Kultur und Beschaffenheit des Bodens, die Lage, Grösse und Gestalt des Landes, und noch durch viele andere Umstände bestimmt würde. So geht die Isotherme von 10° in Irland durch den 51sten Grad nördlicher Breite, zieht über London, Karlsruhe, Wien und Astrachan bis zum 42. Gr. n. Breite an die Ostküste von Asien, erreicht unterm 46. Gr. die Westküste von Amerika, zieht sich dann ebenfalls weiter südlich, und verlässt die Ostküste der vereinigten Staaten unterm 41. Gr. nördl. Breite. Dieser grosse Unterschied der Temperatur an der Ost- und Westküste der grossen Festländer hat seinen Grund in den Passatwinden, dem Meer und den Meeresströmen.

§. 366.

Die mit dem Sonnenlichte verbundene Wärme wirkt auf einen Körper um so stärker, je mehr Wärmestrahlen von ihm absorbirt werden. Darum erfolgt in dem Differential-Thermometer sogleich eine Bewegung der Flüssigkeit von der einen Kugel zur andern, wenn man die erste geschwärzt und beide nachher dem Sonnenlichte ausgesetzt hat. Hierauf beruht auch *Franklin's* Versuch mit Tuchläppchen von verschiedener Farbe, die er im Sonnenschein auf Schnee legte. Die dunkleren sanken tiefer ein als die hellen, weil sie mehr Wärmestrahlen absorbiren, und folglich wärmer werden. Man kann in einem innen geschwärzten Kasten, der mit einer Glasscheibe geschlossen ist, die man gegen die Sonne richtet, eine über die Siedhitze des Wassers gehende Wärme hervorbringen.

Zum Messen der direkten Wärmekraft der Sonne dient das *Actinometer* von *Herschel.* Es ist dem Thermometer ähnlich, und besteht aus einem grossen cylindrischen Behälter von farblosem Glase, der mit einer dunkelblauen Flüssigkeit gefüllt ist, und einer in diese hinabreichenden engen Röhre. Letztere ist mit einer Scala von willkürlicher Theilung versehen. Bei der Weite des Gefässes und der Enge der Röhre ist der kleinste Temperaturzuwachs merklich, aber die Röhre auch bald mit der Flüssigkeit angefüllt. Desshalb ist das Gefäss mit einer Schraube versehen, durch deren Herunterlassen man den Rauminhalt des Gefässes vergrössern kann. An der Scala erkennt man die Ausdehnung der Flüssigkeit. Die Sonnenstrahlen, welche auf die blaue Flüssigkeit fallen, werden im Innern von ihr absorbirt, und die Erwärmung erfolgt darum von Innen. Die Ausdehnung ist das Resultat der Einwirkung *aller* Sonnenstrahlen. Man beobachtet mit diesem Instrumente, indem man es erst eine Minute lang frei im Schatten aufhängt, dann eben so lang der Sonne aussetzt, nachher wieder in den Schatten bringt, und jedes-

mal die Höhe der Flüssigkeit in der Röhre nach Verfluss einer Minute notirt. Das Mittel aus beiden Höhen im Schatten wird von dem Stande im Sonnenschein abgezogen. Dadurch erhält man die von der Sonnenwärme in 1 Minute bewirkte Ausdehnung. *Forbes* fand damit, dass die Sonnenwärme beim Durchgang durch die Atmosphäre geschwächt wird, und an der Oberfläche der Erde ungefähr nur $^4/_5$ von der Intensität besitzt, welche sie in einer Höhe von 6000 Fuss hat. Auch *Ramond* fand die Hitze im Brennpunkt eines Hohlspiegels auf hohen Bergen grösser als in den Thälern.

In neuerer Zeit hat *Buys-Ballot* eine periodische, von der *Rotation* der Sonne abhängige Zu- und Abnahme der Sonnenwärme nachgewiesen. Diese Periode beträgt nach ihm 27,68 Tage.

Pouillet hat ebenfalls ein Instrument angegeben, welches auf der Erwärmung einer kleinen Quantität Wasser durch die senkrecht auf ein geschwärztes Metallgefäss fallenden Sonnenstrahlen beruht, und von ihm *Pyrheliometer* genannt wird. Nach den von ihm angestellten Untersuchungen gelangen nur $^6/_{10}$ von der Sonnenwärme zum Boden der Erde, und wenn man die ganze Sonnenwärme eines Jahres, welche die Erde erhält, gleichförmig auf letzterer vertheilt und annimmt, dass sie ohne allen Verlust auf die mit einer Eis-Schichte von 31 Meter Dicke umgebene Erde zu wirken im Stande wären, so müsste diese dadurch geschmolzen werden, obgleich die Erde vermöge ihrer Oberfläche und ihrer Entfernung von der Sonne nur den 238000000sten Theil von aller Sonnenwärme erhält. Ein Cubik-Centimeter Wasser wird von den direct und senkrecht darauf fallenden Sonnenstrahlen in einer Minute um 6,7° erwärmt. Nach *Daubrée's* Berechnung wird von der Sonnenwärme ohngefähr ein Drittheil auf die Bildung von Wasserdämpfen verwendet. Die Wärme der vom Monde reflectirten Sonnenstrahlen ist so gering, dass *Melloni* nur mit Hilfe einer stark concentrirenden Linse und der empfindlichsten Thermoscope sie nachweisen konnte.

§. 367.

Um die Temperatur des Weltraumes, welcher ebenfalls erwärmend auf unsere Erde wirkt, zu finden, beobachtete *Pouillet* bei Nacht ein Thermometer, welches vor den Wirkungen der Erdwärme durch schlecht leitende Substanzen, wie z. B. mehrere Schichten von Eiderdunen, geschützt war, und also nur die Wärme des Himmels und unserer Atmosphäre aufnehmen konnte. Er nennt dieses Thermometer ein *Actinometer*. Weil das Verhältniss zwischen der strahlenden Wärme der Atmosphäre und des Weltraums schwer auszumitteln ist, so substituirte er für beide die Wirkung einer einzigen Ursache, die er Zenithal-Temperatur nennt. Indem aber das Actinometer auch noch von der umgebenden Luft erwärmt wird, so ist seine Temperatur immer höher als die Zenithal-Temperatur. *Pouillet* schliesst aus seinen Beobachtungen, dass die Temperatur des Weltraumes ohngefähr 142° unter Null sei. *Fourier* schätzt sie in Folge seiner Untersuchungen nur auf — 60° C. Dessen ungeachtet beträgt unter dieser Voraussetzung die in einem Jahr der Erde durch den Weltraum mitgetheilte Wärme $^5/_6$ von der Sonnenwärme, weil die Oberfläche der Sonne mehr als 200,000mal kleiner ist als das Himmelsgewölbe. Ohne die Wärme der Sonne und des Weltraumes

muss die Erde allmälig ihre Wärme verlieren. Die höchsten bis jetzt beobachteten Kältegrade sind nach *Franklin* 56,7° auf *Fort Reliance* in Nordamerika, und 60° zu *Jakuzk* in Sibirien.

§. 368.

Die Erde besitzt eine ihr eigenthümliche Temperatur, welche mit der Tiefe nach einem gewissen Gesetze zunimmt und zu der Vermuthung berechtigt, dass sie im Innern sich in einem geschmolzenen oder glühenden Zustande befinde. *G. Bischoff* hat die Erscheinungen vollständig gesammelt, welche für diese Hypothese sprechen. Die wichtigsten davon sind folgende:

1) Die meisten Mineralquellen und alle artesischen Brunnen haben eine die mittlere Temperatur des Ortes übersteigende Wärme. Ja selbst die gewöhnlichen Quellen, welche eine constante Wärme während der verschiedenen Jahreszeiten zeigen, haben eine höhere, als die mittlere Temperatur des Ortes, und nur Quellen von so geringer Tiefe, dass sie an den Veränderungen der Lufttemperatur Theil nehmen, haben im Durchschnitt die mittlere Temperatur. Die Temperatur-Unterschiede bei den Mineralquellen können aber aller Wahrscheinlichkeit nach weder von der Entwicklung des kohlensauren Gases, noch von andern chemischen Prozessen herrühren.

2) Bis zu einer Höhe von 6000 Fuss schmilzt das Eis unter den Gletschern, da, wo es den Boden berührt, beständig ab. Schon *Escher* schloss daraus auf innere Wärme der Erde. Dass dennoch die Temperatur des Bodens unter den Gletschern gleich 0° ist, folgt daraus, dass die aus dem Innern zugeführte Erdwärme zum Schmelzen des Eises verwendet wird. Der gefrorne Boden in Sibirien ist kein Gegenbeweis, indem dort die mittlere Temperatur unter Null ist, und der Boden nur nicht tiefer aufthaut. Wohl aber kann diese Wärme auch in dem Druck und dem Fortgleiten der Gletscher, also in der durch die Schwere erzeugten Arbeit ihren Grund haben.

3) Am Boden tiefer Landseen ist die Temperatur gewöhnlich gleich 4° C., also derjenigen gleich, bei welcher das Wasser die grösste Dichte hat. Die Temperatur des Meeres ist nach *Buz* nicht tiefer, als bis zu 6000 Fuss untersucht. Sie nimmt im Anfang schnell, dann immer langsamer, und zuletzt unmerklich ab. Die niedrigste Temperatur, die man in jener Tiefe am Aequator beobachtete, war 1,7° R. Von dort an rückt gegen Nord oder Süd der Punkt, in welchem diese Temperatur angetroffen wird, immer höher hinauf. Die niedrigste Temperatur, welche *Horner* im Meerwasser beobachtete, war — 2° C.; sie kann aber — 4° C. werden, bis das Meerwasser gefriert, und da letzteres bis zum Moment des Gefrierens immer schwerer wird, und man die Temperatur von — 4° C. noch nie in ihm beobachtet hat, so ist es wahrscheinlich, dass das Meerwasser von unten erwärmt wird. Auch spricht dafür die Beobachtung von *Peron* und *Duperrey*, nach welcher die mittlere Temperatur der Meeresfläche stets höher ist, als die der Luft; während doch beständig durch Strömungen kaltes Wasser aus höhern Breiten dem wärmern Klima zugeführt wird, und dieses in entgegengesetzter Richtung warme Wasserströme entsendet. Ferner gilt hiefür die Wahrnehmung, dass in den Polarländern die Temperatur mit der Tiefe des Meeres

zunimmt. In den Tropenländern dagegen nimmt sie mit der Tiefe ab wegen der Erwärmung von aussen.

4) Der stärkste Grund ist aber die Zunahme der Temperatur in dem festen Boden, welcher *nicht eine* Beobachtung widerspricht. Diese Zunahme beträgt nach *Reich* im Mittel aus sehr vielen Beobachtungen von *Marcet* und *De la Rive* 1° R. bei 114,8 Fuss, nach denen von *Erman* und *Magnus* bei 101, 108 und 114 Fuss Tiefe. Selbst in Sibirien zeigte sich bei *Jakusk* in einem Bohrloch von 382 Fuss Tiefe eine Temperatur von — 0,6°, während die mittlere Temperatur an der Oberfläche — 9° C. ist. In dem Neusalzwerker-Bohrloch von 2200 Fuss Tiefe ist die Temperatur + 32¾° C. Man kennt noch kein bestimmtes Gesetz über die Wärmezunahme nach Innen; doch wird dieses jedenfalls durch das Eindringen des Regenwassers, durch warme Quellen, durch das ungleiche Wärmeleitungsvermögen der Gebirgsarten, und durch das Eindringen der kalten Luft in die Bergwerke modificirt. Die Beobachtungen wurden meist in artesischen Brunnen mit Hilfe des §. 310 beschriebenen Geothermometers, und in Bergwerken, fast in allen Gegenden von Europa, angestellt. Dadurch ist man auch zu der Ueberzeugung gelangt, dass in jeder Tiefe von 25 und mehr Meter die Temperatur constant ist.

5) Auf Bergen ist die Tiefe der gleichbleibenden Temperatur natürlich grösser, als in den Thälern, weil sie schneller erkalten müssen. Aus *Boussingault's* Beobachtungen scheint hervorzugehen, dass unter den Tropen, von der Meeresfläche bis zur Schneegränze, eine stetige Abnahme der Boden-Temperatur stattfindet, und im Mittel auf 677 Fuss Höhe 1° R. beträgt. *Humboldt* nimmt 954 Fuss an. In der Nähe von Bonn beobachtete *G. Bischoff* 683 Fuss. — Nimmt man an, dass in einer zur Oberfläche eines Berges senkrecht gemessenen Richtung die Wärme bei 145 Fuss Tiefe um 1° R. zunehme, wie aus einigen Beobachtungen hervorzugehen scheint, so lässt sich das bei hohen und sehr ausgedehnten Bergen häufig vorkommende Phänomen erklären, dass heisse Quellen an ihrem Fusse entspringen.

6) Auch die Vulkane sind wahrscheinlich grosse, durch die Wärme der Erde begründete Erscheinungen. Die chemischen Theorien *H. Davy's* u. A. über ihren Ursprung sind nach dem jetzigen Stande der Wissenschaft unhaltbar, indem die Vulkane weder aus Oxydations-Prozessen noch aus solchen, in denen das Chlor die Hauptrolle spielt, genügend erklärt werden können. Dagegen lassen sich alle Erscheinungen der Vulkane aus der innern Erdwärme und der Expansivkraft der Wasserdämpfe erklären. Das Emporsteigen von Inseln, das Emporheben ganzer Landstrecken und die Erdbeben scheinen die Wirkung elastischer Dünste anzudeuten, welche einen Ausweg suchen. Auch die Zu- und Abnahme in der Temperatur der Quellen bei Erdbeben kann daher rühren, dass sich Gebirgsspalten öffnen, die nach dem Innern führen, oder dass sich solche schliessen, die bisher aus dem Innern der Erde dem Quellwasser Wärme zuführten.

7) Für die Annahme, dass die Erde an ihrer Oberfläche in einer vorgeschichtlichen Zeit wärmer gewesen sei, als jetzt, sprechen ebenfalls viele Erscheinungen. Die Pflanzenreste der Polarländer, besonders in der Steinkohlen-Formation, nähern sich mehr dem tropischen Klima, und

nach *Gräser* verlieren sich solche Species ganz in den obern Schichten, und kommen nur in den ältern oder untern Schichten vor. Auch deuten nach *Lyell* die Versteinerungen in den tertiären Gebirgen auf grössere Erdwärme hin. Die organische Welt hat darum einen *Anfang* in der Geschichte der Erde, indem sie bei einer hohen Temperatur nicht bestehen kann. So gerinnt z. B. das Blut bei 78°. Wahrscheinlich hat seit der historischen Zeit die Temperatur der Erde eine gewisse Stabilität erreicht, und kann nicht merklich tiefer sinken, indem durch die Sonne und die unzähligen Fixsterne die ausstrahlende Erdwärme wieder ersetzt wird; wenigstens hat *La Place* bewiesen, dass die Umdrehungszeit der Erde sich seit *Hipparch* nicht um 0,01 Secunden vermindert habe, und dass die Erde also in dieser Zeit sich nicht merklich zusammengezogen haben oder kälter geworden sein kann. Auch spricht dafür der Umstand, dass in einer Tiefe von 27 Meter sich seit bald 100 Jahren die Temperatur des Bodens in den Kellern der Sternwarte zu Paris nicht im geringsten geändert hat.

8) Wenn die Erde sich niemals in einem flüssigen, bei der Beschaffenheit der meisten Felsarten also geschmolzenen Zustand befunden hätte, so wäre schwer zu begreifen, wie es kommt, dass ihre abgeplattete Kugelgestalt so genau mit der des flüssigen Wassers, das sie umgibt, zusammenfällt.

§. 369.

Eines der wichtigsten Mittel zur Erforschung der Temperatur unserer Erde sind regelmässige Beobachtungen der Bodenwärme. Sie werden dadurch angestellt, dass man in Gruben bis zu verschiedenen Tiefen Flaschen mit Wasser versenkt, und diese nach längerer Zeit, wenn sie nämlich die Temperatur des Bodens angenommen haben, schnell heraufzieht, um mittelst eines sehr empfindlichen Thermometers den Wärmegrad des Wassers zu untersuchen. Da nach *G. Bischoff's* Versuchen die Luftwärme sehr langsam in die Tiefe der Erde eindringt, und z. B. 26 Tage braucht, um nur zu einer Tiefe von 6 Fuss zu gelangen, so ist es zweckmässig, obige Beobachtungen monatlich nur einmal anzustellen. Auf diese Art hat man bis jetzt nur an wenigen Orten die Bodentemperatur untersucht. Nach *Reich* ist sie z. B. im Erzgebirge um 0,8° R. höher, als die mittlere Temperatur der Luft. Nach *Quetelet* erstrecken sich in unsern Breiten die täglichen Variationen der Bodentemperatur nur bis zu einer Tiefe von 1 Meter; die jährlichen dagegen nicht bis zu mehr als 25 Meter Tiefe. In einer Tiefe von 8 Meter, wo die Bodentemperatur um 1° wechselt, sind die Jahreszeiten gerade umgekehrt, das heisst, das Maximum findet im Januar und das Minimum zu Ende des Juni statt. Als Ursache jenes langsamen Eindringens der Wärme in die Erdrinde muss man ohne Zweifel das schlechte Wärmeleitungsvermögen derselben ansehen. Dieses bewirkt auch zugleich das langsame Entweichen der Erdwärme. Nicht unwichtige Beweise dafür liefern Beobachtungen über die Temperatur der Laven. *Breislack* fand Lava noch heiss und rauchend, die schon 7 Jahre vorher geflossen war, und *Spallanzani* setzte seinen Stock in Flammen, indem er ihn in die Ritzen eines 11 Monate vorher entstandenen Lavastromes brachte. *G. Bischoff* stützt auf diese und ähnliche Erscheinungen, so wie auf die

früher angegebenen Gründe für die innere Erdwärme, mit vielen Andern die Vermuthung, dass die ganze Erde sich ursprünglich in einem geschmolzenen Zustande befunden habe, und unterscheidet drei grosse Perioden ihrer Erkaltung. Die erste, in welcher das Wasser wenigstens die Siedhitze hatte, und die Erde von Wasserdämpfen eingehüllt war, und daher eine gleichförmige Temperatur haben musste. Die zweite Periode, in welcher die Tertiär-Formationen sich bildeten und die grossen vulkanischen Veränderungen vorgingen, indem die Erdkruste durch eingedrungenes und in Dämpfe verwandeltes Wasser gehoben wurde und ihre gegenwärtige Gestalt erhielt, und die dritte Periode, in welcher die klimatische Verschiedenheit entstand und ihre jetzige Grösse erreichte.

§. 370.

Ueber die Wärme-Entwicklung durch Molekular-Erscheinungen sind schon in den §§. 362 und 363 Beispiele vorgekommen. *Pouillet* hat gefunden, dass, so oft eine Flüssigkeit auf ein sehr feines Pulver gegossen wird, die Temperatur steigt. Bei Metallen, Oxyden und Erdarten beträgt diese Erhöhung nur 0,2 bis 0,3 Gr.; bei organischen Substanzen aber, wie Wurzelmehl, Stärke, getrockneten Häuten, wechselt sie von 1—10°. Auch die in §. 361 erwähnte Wärme-Erzeugung durch Absorption von Wasser gehört hieher. *Mitscherlich* hat gefunden, dass Wärme frei wird, wenn Schwefelkrystalle, die aus flüssigem Schwefel entstanden sind, allmälig oder bei Berührung mit Schwefelkohlenstoff schnell andere Krystallform annehmen; die freiwerdende Wärmemenge ist so gross, dass sie die gleiche Menge Schwefel um 12,1° erwärmen würde, und beträgt 2,27 Wärme-Einheiten. Ebenso besitzt nach *Reguault* der amorphe rothe Phosphor eine beträchtlich schwächere Wärme-Capacität als der gemeine Phosphor im starren oder flüssigen Zustand.

Die Wärme, welche *Foucault* in einer Kupferscheibe durch Magnetismus erhalten hat, indem er sie zwischen den Polen eines starken Elektromagnets in rasche Drehung versetzte, scheint den durch Magnetismus inducirten elektrischen Strömen zugeschrieben werden zu müssen, wovon später das Nöthige vorkommen wird.

§. 371.

Die Wärme-Entwicklung durch *Elektrizität* kann erst in einem spätern Abschnitte gelehrt werden; doch gehört hieher die Bemerkung, dass Körper, welche die Elektrizität leiten, durch Reiben sich sehr schnell erwärmen; während die Nichtleiter der Elektrizität erst dann durch Reiben leicht erwärmt werden, wenn sie am stärksten elektrisch sind, und die Elektrizität während des Reibens nicht wieder aus ihnen entweichen kann.

§. 372.

Durch den *Lebensprozess* der Menschen und Thiere entsteht fortwährend Wärme, und auch in Pflanzen scheint die innere Lebensthätigkeit die Entwicklung von Wärme zu veranlassen. Die Thiere haben entweder eine constante Temperatur und heissen alsdann warmblütig, oder ihre Temperatur ändert sich mit dem umgebenden Mittel, in welchem

Fall sie kaltblütig heissen, wie die Amphibien, Fische, Mollusken und Crustaceen. Bei den warmblütigen Thieren sah man sonst das Athmen als die einzige Ursache der Wärme an, weil dabei, wie bei dem Verbrennen eines Körpers (vgl. §. 47), der Sauerstoff der Luft zum Theil zu der Oxydation der in dem Blut enthaltenen Kohle verwendet wird. *Despretz* und *Dulong* haben aber bewiesen, dass nur ein Theil der thierischen Wärme auf diesem Wege entstehen kann und der übrige Theil einer andern Ursache zugeschrieben werden müsse. Da die Temperatur des menschlichen Körpers sehr constant und ganz unabhängig von der umgebenden Luft ist, ja sogar diese meistens übertrifft, indem sie 36 bis 37° C. beträgt, und bei manchen Thieren, z. B. den Vögeln, noch höher, gewöhnlich 42° C. ist; da ferner sowohl bei der Schweissbildung, als bei grosser Kälte dem Körper viel Wärme entzogen wird, so muss die Quelle, welche den Wärmeverlust wieder ersetzt, um so ergiebiger sein, je grösser der Verlust an Wärme ist. Da man nun wahrnimmt, dass durch erhöhte Thätigkeit des Organismus jener Ersatz bis zu einer gewissen Gränze wieder geleistet wird, so kann das Athmen oder die Verbrennung des im Blut enthaltenen Kohlenstoffs nicht die einzige Ursache der thierischen Wärme sein. Nach *Liebig* entsteht vielmehr die thierische Wärme durch die Verbindung des Kohlenstoffs und Wasserstoffs im Körper mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlensäure und Wasser. Letztere werden durch das Ausathmen und die Hautausdünstung wieder abgesondert. Dem Körper werden die Kohle und der Wasserstoff durch solche Nahrungsmittel ersetzt, welche kein Blut zu bilden vermögen, weil sie keinen Stickstoff enthalten, wie der Zucker, Gummi, Stärke, Weingeist und Fett. In diesen Stoffen ist wahrscheinlich der grösste Theil der latenten Wärme ihrer Elemente, des Kohlenstoffs und Wasserstoffs, noch enthalten, und wird durch die Verwandlung in eben so grosser Menge frei, als wenn man sie verbrennt. Der Ersatz an diesen Stoffen muss darum um so grösser sein, je stärker die nöthige Wärme-Entwicklung ist, daher die grössere Esslust im Freien, und bei Bewegung und Anstrengung oder bei grösserer Kälte. Von diesen Kohlenhydraten allein kann aber der Mensch nicht leben. Es sind auch stickstoffhaltige Körper zu seiner Ernährung und besonders zur Arbeit nöthig. Unter diesen ist das Eiweiss für sich allein im Stande das Leben zu erhalten und die Arbeitsfähigkeit wieder herzustellen. Seine Oxydation im Körper erzeugt nicht nur Wärme, sondern auch Arbeitskraft. Die Kohlenhydrate verhindern nur, dass bei dem durch die Arbeit vermehrten Athmen das Eiweiss nicht so schnell oxydirt wird, indem sie selbst einen Theil des eingeathmeten Sauerstoffs aufnehmen. Nun wird aber nach den Untersuchungen von *C. Voit* in einer bestimmten Zeit, in der Ruhe wie bei der stärksten Anstrengung, nur ein bestimmtes Aequivalent Eiweiss oxydirt. Die hieraus gewonnene Arbeitskraft ist also ebenfalls begränzt und kann darum ein gewisses Arbeitsäquivalent, selbst bei Ueberfütterung nicht überschreiten. Ist darum das dem Zeit-Aequivalent entsprechende Eiweiss oxydirt, so tritt Ermüdung und Unfähigkeit ein.

Die Wärmemenge, welche beim Wachen durch den hinreichend ernährten Körper in *einer* Stunde abgegeben wird, ist nach den Versuchen des englischen Arztes *Smith* so gross, dass dadurch die Temperatur

des Körpers um 1° erhöht werden könnte. Diese Wärmemenge ist nach seinen Versuchen entsprechend, der in einer Stunde im Tretrad verrichteten Arbeit, wenn man 1 Wärme-Einheit gleich 424 Kil.-Met. Arbeit setzt. Bei dieser Arbeit wird aber der Körper erhitzt und gibt nicht wie im Ruhezustand, die einfache, sondern die vierfache Wärmemenge ab. Es wird also nur ein Fünftheil der in ihm erzeugten Wärme auf Arbeit verwendet, welches immer noch viel mehr ist, als bei den Dampfmaschinen (vgl. §. 351, Anm.).

Auch die Pflanzen haben nach *Dutrochet* eine höhere Temperatur, als die umgebende Luft, und besonders während des Keimens übersteigt ihre Temperatur die der Luft oft um 6 bis 10 Grade und noch mehr.

§. 373.

Wenn die Körper durch die Wärme bis zu einer gewissen Temperatur erhitzt werden, so entsteht Licht. Im Allgemeinen brauchen gasförmige Körper dazu eine Temperatur von 1000 bis 2000°, feste und flüssige Körper 500 bis 600°, und um weissglühend zu werden, 1000° C. Nach *Draper* wird bei 500 bis 530° das Licht des glühenden Körpers mittelst eines Prisma's zerlegt in Roth, Orange und Grünlichgrau, und erst bei 1100° erhält man ein vollständiges Spectrum. Er fand ferner, dass die Intensität des von dem glühenden Körper ausgestrahlten Lichtes zwar mit der Temperatur des Körpers wächst, aber in einem viel schnelleren Verhältniss. Dasselbe ist auch hinsichtlich der ausgestrahlten Wärme der Fall. Da der Uebergang vom dunkeln in den leuchtenden Zustand, nur allmälig erfolgt, so lässt sich auch der Thermometerstand, bei welchem dieses geschieht, nicht genau bestimmen. Im Dunkeln nimmt das Auge die leuchtende Kraft eines Körpers früher wahr, als im Hellen, wie man an einem rothglühenden Eisen sieht. Daraus scheint abermals zu folgen, dass der Uebergang vom bloss erwärmenden in den leuchtenden Zustand von der Stärke oder Schnelligkeit der Aether-Schwingungen abhänge, wie die Wahrnehmbarkeit eines Tones von der Anzahl der Luftschwingungen.

§. 374.

Eine der häufigsten Quellen von Licht und Wärme ist die *Verbrennung* der Körper. Es findet dabei jedesmal eine chemische Verbindung von zwei oder mehreren Körpern statt. Die gewöhnliche Vorstellung, als ob nur einer von beiden *brennbar*, und der andere die Flamme unterhaltend oder *feuernährend* sei, hat ihren Grund darin, dass bei den meisten Verbrennungen der Sauerstoff der Luft sich mit dem brennenden Körper verbindet, wesshalb die Flamme allein von dem letztern herzurühren scheint. Bestünde aber unsere Atmosphäre aus Wasserstoffgas, und liesse man in dieselbe Sauerstoffgas aus einer Röhre strömen, so würde dieses von der Flamme umgeben sein und folglich der brennbare Körper heissen. Eben so erscheint uns der Schwefel als brennbarer Körper, wenn er in der Luft verbrennt, während er als feuernährend auftritt, wenn im Schwefelgas erhitztes Kupfer verbrannt wird. Die Verbrennung beruht daher nur auf der Verbindung zweier Körper, von denen jeder als der brennende angesehen werden kann.

§. 375.

Zum Beginnen jeder Verbrennung ist eine gewisse Temperatur-Erhöhung nöthig. Hierin besteht das *Anzünden*. Wenn aber die Verbrennung einmal eingeleitet ist, so wird in den meisten Fällen dadurch so viel Wärme entwickelt, als ihre Fortsetzung erfordert. Die Menge der bei der Verbrennung eines Körpers freiwerdenden Wärme ist in vielen Fällen grösser, als die Summe der nach der ältern Ansicht in den sich verbindenden Stoffen enthaltenen latenten Wärme. Ein weiterer Beweisgrund gegen die materielle Theorie der Wärme. Die Temperatur, bei welcher die Körper zu brennen anfangen, ist sehr verschieden, und hängt nicht von ihrer Verwandtschaft zum Sauerstoffe ab, sondern in manchen Fällen von ihrer mechanischen Zertheilung. Jedenfalls ist der Grund, warum manche Körper leichter, andere schwerer sich entzünden, noch nicht bekannt.

Kalium entzündet sich im Wasser bei jeder Temperatur und selbst auf Eis; Phosphor-Wasserstoffgas, so bald es mit der Luft in Berührung kommt; Phosphor brennt bei $37^1/_2{}^0$, Wasserstoffgas bei 300°, ein Wachslicht ohngefähr bei der letzten Temperatur. Durch die beim Anzünden desselben entwickelte Wärme werden die benachbarten Wachstheilchen geschmolzen, steigen vermöge der Haarröhrchen-Anziehung in dem Dochte empor und werden dort ebenfalls so erhitzt, dass sie in brennbare Gasarten, als Kohlenwasserstoffgas, Kohlenoxydgas zersetzt werden, und sich als solche mit dem Sauerstoff verbinden. Diess kann man an einem brennenden Wachsstock oder Papier zeigen. Bläst man die Flamme aus, so steigt eine aus brennbaren Gasen und Dämpfen bestehende Rauchsäule auf, die an einem darüber gehaltenen Lichte sich sehr leicht entzündet. In dem Lämpchen ohne Docht wird durch das brennende Oel ein Glasröhrchen so heiss, dass das dazwischen befindliche Oel die zum Verbrennen nöthige Wärme annimmt. In der Luft kann ein Körper so schnell abgekühlt werden, dass er nicht fortbrennt, wie z. B. eine glühende Kohle, die man auf ein kaltes Eisen legt, oder ein Licht, welches von Luft umgeben ist, die so viel Stickstoff enthält, dass die entwickelte Wärme nicht hinreicht, diesen und den damit gemischten Sauerstoff bis zu 300° zu erhitzen.

Körper, welche sich bei gewöhnlicher Temperatur in der Luft entzünden, heissen *Pyrophore*. *Homburg's* Pyrophor erhält man durch gelindes Glühen von Kalialaun und Kohlenpulver oder Zucker; einen andern durch gelindes Glühen von gleichen Theilen schwefelsaurem Kali und Kienruss. Glüht man Berlinerblau in einer Glasröhre eine Minute lang und schmilzt man die Röhre sogleich zu, so glüht ihr Inhalt, wenn die Röhre später zerbrochen wird. Manche Körper, besonders Kohle, glühen leichter in fein zertheiltem Zustande, wie z. B. zur Kohle verwandelte Leinwand. Diess scheint, ausserdem, dass die Pyrophore Körper enthalten, deren Affinität zum Sauerstoffe sehr gross ist, ein Grund ihrer leichten Entzündlichkeit zu sein.

§. 376.

Die Wärmemenge, welche durch die Verbrennung entsteht, bestimmt man, indem man untersucht, um wie viel Grade eine bestimmte Quantität Wasser dadurch erwärmt wird. Hiezu dient *Rumford's Calorimeter*, Fig. 473. An dem Boden eines kupfernen Gefässes, welches mit Wasser von 0° gefüllt ist, befindet sich eine gewundene Röhre *bb*. Das eine Ende derselben tritt durch den Boden des Gefässes in Form eines Trichters *C* hervor, und nachdem die Röhre mehrere horizontale Biegungen durchlaufen hat, durch die Wand des Gefässes in's Freie. Unter den Trichter *C* wird der verbrennende Körper gebracht, und die Temperatur-Erhöhung des Wassers durch ein hineingebrachtes Thermometer *mn*, dessen Gefäss gleiche Länge mit der Tiefe des Calorimeters hat, angegeben.

Fig. 473.

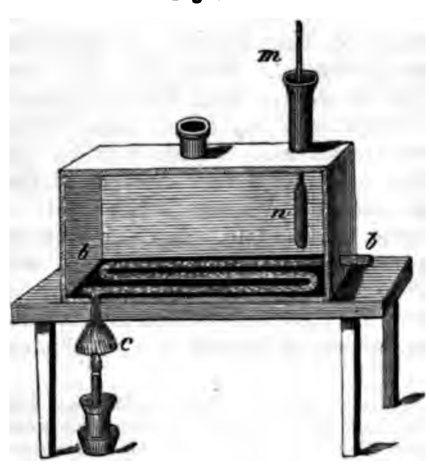
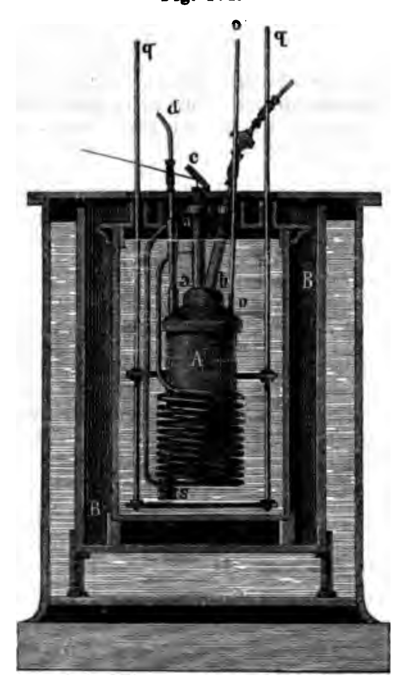


Fig. 474.



Dulong hat, um die entstehende Wärme ganz zu erhalten, die Verbrennung im Innern eines Calorimeters vorgenommen. Sein Apparat war dem neuern von *Favre* und *Silbermann*, Fig. 474, ähnlich. In der Mitte des Wassers von dem Calorimeter *B B* befindet sich ein kleiner Blechbehälter *A*, der als Brennraum dient. Der luftdicht angeschraubte Deckel trägt an zwei Platindrähten die in Fig. 475 besonders abgebildeten Gefässe. Das erste ist eine Lampe, welche mit dem zu untersuchenden flüssigen Brennstoff gefüllt ist, das zweite ist ein Platinschälchen für pulverige Körper, das dritte ein kleiner offener Platincylinder für feste Stücke. Brennbare Gase werden durch die Röhre *b* hineingeleitet. In diesem Fall werden vorher die oben genannten Gefässe entfernt. Durch die Röhre *o*, die sich nahe am Boden des Brennraumes endigt, wird das zur Verbrennung nöthige Sauerstoffgas aus einem Gasbehälter unter stets gleichem Druck und wohl ausgetrocknet, zugeführt. Die Lampe und die festen Körper werden aussen angezündet. Durch die mit einer durchsichtigen Platte geschlos-

Fig. 475.







sene Röhre *a* lassen sich die im Brennraum vorgehenden Erscheinungen entweder von oben oder durch ein angebrachtes Spiegelchen von der Seite beobachten. Die Gase, welche durch die Verbrennung entstehen, entweichen durch das eine Ende der schlangenförmigen Röhre nach dem andern Ende *d*, indem sie ihre Wärme an diese Röhre und das Wasser abgeben. Von *d* gehen sie durch Röhren mit Schwefelsäure und Alkali

zur Bestimmung des Wasser- und Kohlensäuregehalts, und dann über erhitztes Kupferoxyd zur Bestimmung des Kohlenoxydgases. Die Entzündung kann man auf oben angegebene Art oder, wie *Andrews*, durch einen mittelst Leitung des galvanischen Stromes glühend gemachten Draht bewirken. Die beiden Stäbchen $q\,q$ dienen dazu, um die daran befestigten Blechringe auf und ab zu bewegen und so die abgegebene Wärme im Wasser gleichförmig zu vertheilen. Der Raum $B\,B$ ist mit schlechten Wärmeleitern ausgefüllt und von einem dritten Gefäss mit Wasser von der Temperatur der Luft umgeben.

Die Resultate der Versuche sind in nachstehenden Zahlen enthalten, welche angeben, wie viele Wärme-Einheiten durch die Verbrennung von 1 Kil. jedes Körpers erhalten werden.

Holz, gedörrt	3600	Rüböl, gereinigt	9300
„ lufttrocken	2900	Alkohol (absol.)	7000
Holzkohle	7000	Talg	8000
Torf, trocken	4800	Schwefel	2600
„ mit 20% Wasser	3600	Terpentinöl	10800
Torfkohle	5800	Zink	5300
Steinkohle, beste	7000	Zinn	4500
„ geringe	6000	Eisen	4300
Coaks	6600	Kupfer	2600
Baumöl	9900		

Durch die Verbrennung von 1 Kil. Coaks werden also 6600 Wärme-Einheiten erzeugt oder 1 Kil. Coaks erhöht die Temperatur von 6600 Kilogr. Wasser um 1° C. *Dulong* hat durch diesen Apparat auch die Wärmemenge bestimmt, die durch die Verbrennung der folgenden Gase erhalten wird, und *Andrews* hat fast dieselben Resultate erhalten; nämlich für

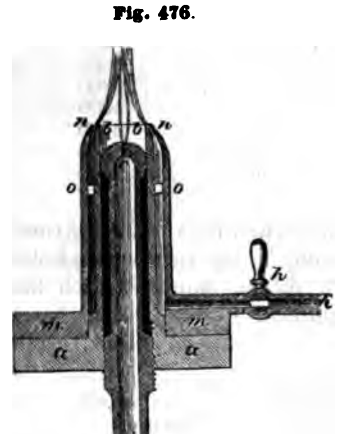
Wasserstoffgas	34500 W.-E.	Kohlenoxydgas	2400 W.-E.
Sumpfgas	13000 „	Oelbildendes Gas	12000 „

Viele nehmen an, dass bei der Verbrennung verschiedener Brennmaterialien die Wärmemengen proportional seien der Menge Sauerstoff, dessen die Brennmaterialien zu ihrer vollständigen Verbrennung bedürfen. Nach den Versuchen von *Clement* braucht 1 Pf. Holz, um vollständig zu verbrennen, 4,58 Pf. oder 1,7 Cub.-Meter atmosphärische Luft. 1 Pf. Holzkohle braucht 11 Pf. oder 4,2 Cub.-Meter, und 1 Pf. Steinkohle 14 Pf. oder 5,3 Cub.-Meter Luft. Da aber der Sauerstoff der Luft wenigstens zur Hälfte ungenutzt mit dem kohlensauren Gas und dem Stickstoff der Luft entweicht, so muss die Menge der zum vollständigen Verbrennen nöthigen Luft wenigstens verdoppelt werden. Desshalb ist es nöthig, bei Unterhaltung eines lebhaften Feuers eine hinreichend grosse Menge Luft herbeizuschaffen, damit der Brennstoff so vollkommen als möglich verzehrt wird, und nicht zu viel Theile als Russ u. s. w. in den Schornstein übergehen. Zu viel Luft kann inzwischen dadurch nachtheilig werden, dass sie die brennenden Körper und ihre Umgebung zu sehr abkühlt. Die Wärmemenge wird übrigens auch noch vermehrt, wenn die Verbrennung schnell und vollkommen ist, und solche Körper entfernt werden, welche Nichts zur Verbrennung beitragen, wie z. B. der Stickstoff der Luft. Die grösste Hitze erhält man durch verdichtetes Knallgas oder durch ein Gemenge aus Kohlenwasserstoffgas und Sauerstoffgas. Das Gefäss, in welchem diese Gase in gehörigem

Verhältnisse gemischt sind, muss mit einer Röhre versehen sein, in welcher das Gas durch viele enge Oeffnungen oder Drahtnetze zu gehen hat, ehe es an die Mündung gelangt, um die Gefahr des Zerspringens zu vermeiden, wie bei dem Apparat Fig. 427, S. 374. Besser ist es, wenn das Sauerstoffgas durch eine Röhre aus einem Gefässe geleitet wird, welche von einer andern cylindrischen Röhre umgeben ist, die aus dem Gefässe kommt, welches das brennbare Gas enthält, so dass beide Gasarten erst an der Mündung, wo sie verbrennen sollen, sich vermischen, wie bei dem *Daniell*'schen Hahn oder bei der Lampe von *Peclet*, Fig. 476.

Diese Lampe, die man gewöhnlich auf einen Tisch, der mit einem Blasebalg versehen ist, befestigt, gehört zu den nothwendigsten Apparaten eines Physikers, und besteht aus folgenden Theilen: *aa* ist eine runde Scheibe von Messing, welche mit der Röhre *aabb* ein einziges Stück bildet. In dieses ist die engere Röhre *cd* geschraubt, welche bei *c* eine Oeffnung hat und oben ringsum etwas dicker als unten ist, damit die Oeffnung *c* immer in der Mitte bleibt. *mm* ist eine zweite Messingscheibe, die mit dem Rohr *mmnn* gleichfalls nur ein einziges Stück bildet. Dieses Rohr kann so auf das vorige gesetzt und angeschraubt werden, dass zwischen *n* und *b* eine genaue kreisförmige und überall gleich weite Spalte bleibt. Kleine Hervorragungen an der Röhre *aabb* wie *o* erhalten sie und die äussere Röhre *mmnn* in dieser Lage. Das brennbare Gas wird durch das Rohr *k* in den ringförmigen Zwischenraum zwischen dem Rohr *mn* und *ab* geleitet und strömt durch die kreisförmige Spalte zwischen *b* und *n* aus. Der Sauerstoff oder die atmosphärische Luft strömt durch das Rohr *dc*, welches man in der Schraubenmutter *aa* hoch oder nieder stellen kann. Die Gasflamme über *nn* wird dadurch lebhaft angefacht, zieht sich zusammen und erlangt eine ausserordentliche Intensität. In kleinerem Maassstab dient diese Vorrichtung als Löthrohr, in grösserem zum Schmelzen, Glasblasen u. dgl. Wo eine Gasbeleuchtung eingerichtet ist, leitet man das brennbare Gas aus einem Gasrohr durch eine Kautschuckröhre nach *k* und treibt die atmosphärische Luft mittelst des Blasbalgs oder durch den Mund in die Röhre *dc*. Der Hahn *h* dient zur Regulirung des Gasstromes.

Fig. 476.



Die Luftmenge, welche zum Verbrennen nöthig ist, wird entweder durch Gebläse oder durch den Luftzug des Schornsteins in den Ofen geschafft. Wie man die Geschwindigkeit des Luftzugs in den Schornsteinen berechnet, ist schon im §. 146 gezeigt worden. Daraus folgt, dass sie mit der Höhe des Schornsteins wächst, und daher sind hohe Schornsteine zu manchen Zwecken sehr nützlich. Im Kleinen sieht man diess schon an jeder *Argand*'schen Lampe, deren Cylinder man abnimmt, oder deren Zuglöcher man verstopft. Durch einen engen Cylinder und durch eine solche Befestigung desselben, dass seine engste Stelle nur um 1 bis 2 Linien über dem Dochte sich befindet, kann die Intensität des Lichtes einer solchen Lampe sehr verstärkt werden.

Ausser dem Brennmaterial übt auch die äussere Oberfläche des zu erhitzenden Körpers, z. B. des Kessels und andere Umstände, einen grossen Einfluss auf die Heizung des Wassers aus. Nach *Peclet's* Versuchen verhalten sich die durch eine Metallplatte gehenden Wärmemengen direkt, wie die Temperaturunterschiede ihrer beiden Oberflächen, und die Leitungsfähigkeit des Metalls für die Wärme wird daher sehr erhöht, wenn man die Flüssigkeit, welche die Wände benetzt, rasch erneut.

§. 377.

Die Verbrennung erfolgt um so rascher, mit je mehr Sauerstoff der verbrennende Körper in Berührung kommt, und je weniger er dabei erkältet wird. Daher wird sie durch den Luftzug und durch Erwärmung der zuströmenden Luft sehr befördert. Doch muss die Grösse und Schnelligkeit des Luftstromes aus dem letzten Grunde in einem gewissen Verhältnisse zur Grösse des brennenden Körpers stehen, indem er sonst erkältet wird und erlischt. Auch beruht darauf der Nutzen des Schmelzens der Erze mit erhitzter Gebläseluft. Die Luft wird, ehe sie mit den brennenden Körpern in Berührung kommt, bis zu 300° erhitzt, wodurch nicht nur viel Brennmaterial erspart, sondern auch mehr Metall gewonnen wird. *Buff* hat durch Versuche gezeigt, dass der Nutzen der vorläufigen Erhitzung des Windes zum Theil darin liegt, dass er einen guten Effect gibt, ohne grosse Geschwindigkeit zu besitzen. Nach *Dufrenoy* ist dabei nicht nur die Menge der verbrannten Kohlen, sondern auch die der verwendeten Luft geringer. Ein anderes Beispiel von der Wirkung des schnellen Luftzuges liefert das Verbrennen eines rothglühenden, mehrere Zolle langen Eisendrahtes, welchen man an einem Drahte schnell wie eine Schleuder schwingt. Eisen in feiner Vertheilung, wie die feinste Eisenfeile, brennt leicht fort beim Herabfallen, besonders aber, wenn man, wie *Magnus* gezeigt hat, den Zutritt des Sauerstoffs dadurch erleichtert, dass man die Eisenfeile in Berührung mit einem Magnet bringt, weil in Folge der Abstossung gleichartig magnetischer Theilchen sich Zwischenräume für die Luft bilden.

Den Mitteln, die Verbrennung zu befördern, sind die, das Feuer zu löschen, entgegengesetzt. Man erkältet die brennenden Körper durch kaltes Wasser, hemmt den Luftzug, verhindert den Zutritt der Luft durch Bedeckung und verhütet die Entzündlichkeit der Körper dadurch, dass man sie mit einer Auflösung von Substanzen, wie z. B. Salzsole, tränkt, welche sich mit dem Sauerstoffe der Luft nicht verbinden. Wenig Wasser hilft beim Feuerlöschen nicht nur Nichts, sondern es begünstigt noch das Verbrennen kohliger Substanzen, weil der glühende Körper das Wasser zersetzt, den Sauerstoff aufnimmt und den Wasserstoff gasförmig entbindet, der nachher mit dem Sauerstoff der Luft verbrennt und die Hitze vermehrt.

§. 378.

Bei dem Verbrennen solcher Körper, welche feuerbeständig und nicht flüchtig sind, entsteht bloss ein *Glühen*; bei denjenigen aber, welche entweder schon gasförmig sind oder durch's Erhitzen in brennbare Gasarten zersetzt, oder selbst dampfförmig werden, entsteht die *Flamme*. Die einfachste Flamme bildet ein Strom von brennendem Wasserstoffgas. Sie besteht aus dem innern nicht leuchtenden Theile, oder dem unvermischt ausströmenden Gase, und aus dem äussern Theile, welcher diesen wie eine leuchtende Hülle umgibt. Dass der erste Theil nicht leuchtend ist, sieht man am besten, wenn .man ein feines Drahtnetz horizontal durch die Flamme hält. Es entsteht alsdann in der Mitte ein dunkler Kreis, welcher von einem leuchtenden Ringe umgeben ist; die dunkle Mitte ist so wenig erhitzt, dass man sehr brennbare Körper hineinbringen kann, ohne dass sie sich entzünden. Der leuchtende Theil kann natürlich nur da entstehen, wo die Sauerstofftheilchen der Luft sich mit dem Wasserstoffe verbinden, also nur an der Oberfläche des Gasstromes.

Die zugespitzte Form der Flamme erklärt sich daraus, dass das in Form eines Cylinders aufsteigende Gas nach und nach verbrennt, und also, je höher es steigt, desto mehr abnimmt. Zusammengesetzter ist die Flamme einer Kerze. Nach *Berzelius* unterscheidet man an ihr folgende Theile: Fig. 477. 1. den inneren dunkeln Kegel, 2. die leuchtende Hülle um diesen, 3. die blaue Hülle am untern Theil, und 4. den Schleier über das Ganze. Der leuchtendste Theil der Flamme liegt nach *Landolt* etwas über der Stelle, wo der dunkle Kegel aufhört. Der innere Kegel enthält die von dem Docht aufsteigenden Destillations-Produkte, die in Gase verwandelt werden, und dann die leuchtende Hülle nähren; dazu kommen zum Theil die durch den Sauerstoff der Luft an der brennenden Hülle gebildeten Oxydations-Produkte und der von der Atmosphäre eintretende Stickstoff. Da nun die Luft beim Eintritt in die Hülle ihres Sauerstoffs beraubt wird und sich von unten nach oben immer mehr Verbrennungsprodukte bilden, so ist nach den Untersuchungen von *E. Hilgard* das Gasgemenge in jeder Höhe des innern Kegels anders zusammengesetzt. In der Höhe des Dochtes besteht es beim Verbrennen von Rindstalg auf 1000 Cent. Gas in 636 Stickstoff, 71 Kohlensäure, 46 Kohlenoxyd, 188 Elaylgas, 52 Grubengas, 7 Wasserstoff und 0,7 Gr. verdichtetem Fett und wenig Wasser. Die leuchtende Hülle entsteht da, wo der Sauerstoff der Luft sich mit den brennbaren Bestandtheilen des innern Kegels verbindet. Durch diese Verbrennung nimmt der innere Kegel nach oben immer mehr ab, die schwerer brennbare Kohle verbrennt hauptsächlich im obern Theil. Der Reductionsraum liegt in der dem innern Kegel zugekehrten Grenze der Flammenspitze. Die untere Hülle ist blau, weil dort der hinzutretende Sauerstoff und Kohlenstoff noch nicht genug erhitzt sind, um sich zu verbinden. Die leuchtende Hülle besteht aus glühender Luft, gemischt mit den letzten Verbrennungs-Produkten der Flamme. Bei Anwendung des Löthrohrs auf die Lichtflamme erzeugt man durch Ausströmen von Luft aus einer engen Oeffnung einen Flammenkegel, welchen man bald zur Oxydation, bald zur Reduction oder Desoxydation der Körper benutzt. Die Oxydation bewirkt man, indem man die zu oxydirende Probe in einiger Entfernung von der röthlich-violetten Flamme glüht. Die Reduction gelingt nur durch ein enges Löthrohr, wobei die Probe von der röthlich-violetten Flamme, welche gar keinen überschüssigen Sauerstoff enthalten darf, ganz umhüllt sein muss. Dabei entzieht der Kohlenstoff dem zu desoxidirenden Körper noch den zu seiner Verbrennung nöthigen Sauerstoff; wesshalb man die Probe gewöhnlich in ein Grübchen legt, welches man in ein Stück Holzkohle gemacht hat.

Fig. 477.

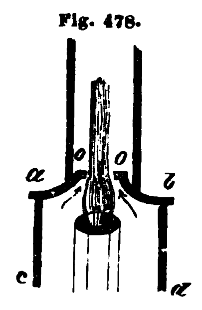


Der *Rauch* entsteht dadurch, dass beim Brennen eines Körpers eine Menge seiner Kohlentheilchen, ohne zu brennen, verflüchtigt werden, weil sie die zum Brennen nöthige Hitze nicht haben. In den sogenannten Rauchverzehrern wird diese Verbrennung durch Benutzung der von der Flamme ausgehenden Hitze hervorgebracht.

§. 379.

Je grösser die Anzahl der Berührungspunkte zwischen dem Sauerstoffe und dem verbrennenden Körper ist, und je dichter die sich verbindenden Theilchen beider beisammen stehen, desto leuchtender ist die Flamme. Daher verbrennt verdichtetes Wasserstoffgas besser, und feste Körper geben stärkeres Licht, als weniger dichte. Durch feste Körper, welche in der Flamme glühend werden, kann die Lebhaftigkeit derselben oft sehr erhöht werden, wie z. B. durch einen Kalkcylinder im brennenden Wasserstoffgas oder durch einen Platindraht. Hierauf beruht die Anwendung des Wasserstoffs zur Beleuchtung von *Gillard.* Die Wasserstoffflamme ist mit einem gleichgrossen und gleichgestalteten Netz vom feinsten Platindraht umgeben, welcher dadurch in's Glühen kommt und ein sehr angenehmes und helles Licht verbreitet. Leitet man Wasserstoffgas durch Steinkohlentheer, so nimmt es fein vertheilte Kohle in sich auf, und verbrennt daher mit heller Flamme. Wie durch verschiedene Mischungen die Flamme farbig wird, ist schon unter dem Lichte angegeben. Auch die complementären Farben der Flammen ergänzen sich zur Farblosigkeit, wie beim Lichte. *Suckow* hat gefunden, dass der Docht einer Weingeistlampe, der durch Chlorstrontium carminroth brennt, mit einem durch Chlorkupfer smaragdgrün brennenden Docht zusammengewunden, farbloses Licht gibt; ebenso gibt eine durch Chlorcalcium orangegelb gefärbte, und eine durch Chlorkobaltlösung blau gefärbte Flamme die Farbe des Weingeistes. Durch einige Tropfen Terpentinöl oder auch gewöhnliches Oel wird die Flamme einer Weingeistlampe so hell als ein Kerzenlicht. Aber auch durch Verlängerung der Flamme, besonders bei Gasbeleuchtungen, wird viel an Lichtstärke gewonnen, so wie durch Vertheilung des Gases in viele Ausflussöffnungen. Doch stehen Hitze und Helle nicht in nothwendiger Verbindung. Muss das Gas durch sehr enge Oeffnungen, z. B. durch ein Drahtnetz, gehen, welches 400 Löcher auf einen Quadratzoll hat, und ist der Draht $\frac{1}{40}$ Linie dick, so kann es, wenn es auf der einen Seite des Netzes brennt, so lange das Netz nicht glüht, dem auf der andern Seite befindlichen Gase die zum Verbrennen nöthige Wärme nicht mittheilen, und die Flamme verbreitet sich also nicht weiter dadurch. Hierauf gründet sich die früher erwähnte Sicherheitslampe *Davy's,* und *Aldini's* Sicherheitspanzer, der in einem Drahtnetze besteht, welches über eine mit Salzsole getränkte Kleidung aus Schafwolle, oder über ein Amianth-Gewebe angezogen wird, und dadurch bei Feuersbrünsten grosse Dienste leistet.

Fig. 478.



In der gewöhnlichen *Argand*'schen Lampe wird die Helle der Oelflamme sehr erhöht durch ein richtiges Verhältniss zwischen dem Durchmesser des Dochtes und der Länge und Weite des Glascylinders. Die *Benkler*'sche Lampe, Fig. 478, vermehrt die Lichthelle dadurch, dass über dem Docht der *Argand*'schen Lampe sich ein metallenes Blech *ab* befindet, welches bei *oo* mit einem Diaphragma versehen ist und durch einen Glasring *abcd* getragen wird. Der Durchmesser des Diaphragma's ist dem des cylindrischen Dochtes ohngefähr gleich. Die Flamme erhitzt nicht nur das Metall, sondern auch den Glascylinder sehr beträchtlich, wodurch die Verbrennung der im Oel enthaltenen Kohle befördert wird. Indem die erhitzte Luft durch das Diaphragma in einen weitern Raum gelangt,

bewirkt sie einen lebhaften Luftstrom und führt darum der Flamme direkt von unten und von der Seite die nöthige Menge Sauerstoff zu. Denn dadurch wird der Luftstrom, welcher sowohl in dem Innern der kreisförmigen Flamme, als an ihrer Aussenfläche aufsteigt, regulirt. Hinsichtlich des wirklichen Glanzes leistet diese Lampe mehr als das beste Gaslicht.

Fig. 479.

Um das Absetzen des Russes beim Heizen mit Beleuchtungsgas zu verhindern, muss dieses Gas vorher gehörig mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft gemengt sein. Zu diesem Ende lässt man nach *Hoffmann* das Gas in einen weiten Cylinder treten, der unten offen und oben mit einem feinen Drahtnetz bedeckt ist. Das über dem Drahtnetz angezündete Gas theilt die Flamme dem darunter befindlichen Gas aus den oben angeführten Gründen nicht mit und verbrennt vollständig. Sehr geeignet ist auch *Bunsen's* Brenner, Fig. 479. Das Gas tritt durch das Zuleitungs-Rohr *a* in das vertikale Röhrchen *c* und aus diesem durch einen dreifachen Spalt *c* wieder aus. In die kreisförmige Oeffnung *oo* wird ein 2—3 Zoll langer hohler Metallcylinder *z* geschraubt, und indem alsdann das Gas durch *z* aufsteigt, mischt es sich vollkommen mit der darin befindlichen Luft, welche durch vier Oeffnungen wie *mm* zuströmt. Die Erhitzung der Röhre *z*, wenn das Gas oben angezündet ist, trägt ebenfalls zur vollständigen Verbrennung bei. Diese Flamme, wie die bei dem Hoffmann'schen Apparat, leuchtet so wenig, als eine Weingeistlampe. Um sie mit verschiedenen Farben leuchtend zu machen, kann man auf den Bunsen'schen Brenner einen hohlen Coaks-Cylinder stecken, der mit Kochsalz oder Strontianlösung oder dergleichen getränkt ist.

§. 380.

Manche Körper verbinden sich mit dem Sauerstoffe auch bei einer niedrigeren Temperatur, als diejenige ist, bei der sie mit leuchtender Flamme verbrennen. Wenn man z. B. über dem Dochte eines Weingeistlämpchens ein spiralförmig gewundenes Platindrähtchen oder einen Cylinder von solchem Drahtgewebe befestigt, und den Draht glühend macht, so dauert sein Glühen fort ohne das Entstehen einer Flamme, weil die Wärme, welche durch Verbrennung der Weingeistdämpfe entsteht, gerade hinreicht, um den Platindraht immer wieder glühend zu machen. Diess ist das sogenannte *Glühlämpchen*. Befindet sich Aether in dem Fläschchen, so bemerkt man fast immer an der Oberfläche des Platins eine blasse, hellblaue, oft hohe Flamme, welche nicht zündend ist, und verschwindet, wenn die Platina rothglühend wird. *Döbereiner* fand den Grund der Erscheinung darin, dass der Aether schon bei der Temperatur des kochenden Wassers sich oxydirt, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man an einem finstern Orte Aether tropfenweise auf eine den Dämpfen des kochenden Wassers ausgesetzte Platinschale fallen lässt.

§. 381.

Wenn man die Erscheinungen des Lichtes und der Wärme mit einander vergleicht, so drängt sich unwillkürlich die Vorstellung auf, man müsse für beide eine gemeinschaftliche Quelle aufsuchen. Ihre Uebereinstimmung mit den allgemeinen Gesetzen von der Wellenbewegung elastischer Körper hinsichtlich der geradlinigten Fortpflanzung und Reflexion, welche sowohl für den Schall, als für Licht und Wärme gelten, so wie die aus den Polarisations-Erscheinungen (§. 326) hervorgehende

Gleichheit in der Richtung der Schwingungen von Licht und Wärme, ferner die manchfaltigen Grade der Transparenz der Körper, sowohl für farbiges Licht, als für Wärmestrahlen verschiedenen Ursprunges; die Uebereinstimmung von beiden in den Brechungsgesetzen; das Selbstleuchten mancher Körper, nachdem sie dem Sonnenlichte ausgesetzt waren, und das Ausstrahlen von Wärme aus erhitzten Körpern, so wie viele andere bereits erwähnte Erscheinungen beweisen, dass die strahlende Wärme, wie das Licht, in einer vibrirenden Bewegung besteht. Es ist aber nach den in §. 325 und §. 327 angeführten Erscheinungen nicht ausgemacht, dass beide von *denselben* Schwingungen des Aethers herrühren. *Ampère* hält es für wahrscheinlich, dass die strahlende Wärme in Schwingungen des Aethers besteht, welche sich dadurch von denen des Lichtes unterscheiden, dass sie längere Wellen erzeugen, und also langsamer sind. Der Grund, warum wir eine dunkle Wärmewelle nicht sehen, liegt darin, dass die längeren Wärmewellen das Wasser und schwache Lösungen von Salz im Wasser nicht durchdringen, wenn die Wasserschichte nur einige Millimeter dick ist. Hängt man nämlich eine eiserne Kugel hinter einer zwischen Glasplatten befindlichen Wasserschichte auf, und erhitzt man sie nach und nach, so geht so lange nicht die mindeste Wärme durch, als die Kugel dunkel bleibt, und erst, wenn sie glühend wird, lässt das Wasser einige Wärmestrahlen auf die andere Seite gelangen. Da nun das Auge mit Wasser angefüllt ist, so können wir die dunkle erhitzte Kugel nicht eher sehen, als bis die Wellen eine geringere Länge haben. Damit sind indessen nicht alle Hindernisse weggeräumt, welche der Erklärung der Wärme-Erscheinungen im Wege stehen; namentlich ist nicht erklärt, woher es kommt, dass manche Wärmestrahlen gleiche Brechbarkeit mit den gelben und rothen Strahlen besitzen, ohne darum Licht zu sein. Nimmt man nun mit *Ampère* an, der Unterschied zwischen Licht und Wärme bestehe darin, dass bei der freien Wärme die Atome der Körper in Schwingungen gerathen, und diese sowohl einander selbst, als auch dem Aether mittheilen können, so muss der Schall den Schwingungen der zusammengesetzten Atome oder den Massentheilchen zukommen.

Um den Unterschied zwischen der Wärmeverbreitung durch Strahlung und durch Leitung zu erklären, nimmt *Ampère* zweierlei Schwingungen an: 1) solche, welche, wie die des Schalls, den einmal berührten Theil der Luft und hier des Aethers in völliger Ruhe zurücklassen, und 2) solche, welche sich allmälig auf die Art bilden, dass die Schwingungen der Theile, welche dem die Schwingungen erregenden Punkte näher liegen, die Schwingungen der entfernten Theile um eine Grösse übertreffen, welche unaufhörlich abnimmt, aber erst nach einer unendlich grossen Zeit Null wird, bis zu welcher also die Schwingungen der Atome fortdauern.

Die Temperatur eines Körpers wäre nach dieser Theorie die lebendige Kraft seiner schwingenden Theilchen. Die Zu- und Abnahme ihrer Vibrations-Intensität bezeichnete den Zustand des Gebundenwerdens oder Freiwerdens der Wärme, und wo eine Veränderung der lebendigen Kraft eintritt, fände entweder Erwärmung oder Erkältung statt; während nach der Emanations-Theorie die Erscheinungen der latenten Wärme aus der chemischen Verwandtschaft der Körper zum Wärmestoff erklärt werden.

Nach dieser Theorie lässt sich aber die strahlende Verbreitung der Wärme von Körpern, die kälter sind als ihre Umgebung, oder sich im luftleeren Raum befinden, der keine Anziehung gegen sie ausüben kann, ferner die ununterbrochene Wärme-Entwicklung durch Reibung, durch Elektrizität und durch Drehung von Magneten, so wie die Polarisation und Interferenz der Wärmestrahlen gar nicht erklären. Diese materielle Wärmetheorie ist darum bei dem jetzigen Stand der Wissenschaft nicht mehr zu halten, und es muss ihr jedenfalls eine Bewegungstheorie substituirt werden. Ob aber die freie Wärme nur in Schwingungen des Aethers besteht, und ob der Aether nicht auch beim Uebergang eines Körpers in einen andern Aggregat-Zustand auf eine andere Art in Bewegung geräth, ist zwar nicht gewiss, aber wahrscheinlich. Die Temperatur-Differenz ist bei der freien Wärme wahrscheinlich der Differenz der lebendigen Kräfte der Aetherschwingungen proportional, und die gebundene Wärme drückt vermuthlich die Quantität der Spannkräfte in den Atomen aus, welche bei einer Veränderung des Gleichheitsgewichtszustandes der Molekularkräfte eine solche Bewegung hervorbringen.

VIII. Abschnitt.

Vom Magnetismus.

A. Vom Magnetismus überhaupt.

§. 382.

Manche Eisenerze besitzen die Eigenschaft, kleinere und auch grössere Eisentheilchen anzuziehen, und jedes Stück nicht ganz reinen Schmiede-Eisens, welches eine Zeit lang dem Einflusse der Luft ausgesetzt war, oder in der Erde gelegen hatte, erlangt dasselbe Vermögen. Solche Körper nennt man *Magnete,* und die Ursache dieser Erscheinung den *Magnetismus.* Die magnetische Anziehung wirkt durch alle Körper, und ist in der Nähe gewisser Punkte im Innern des Magnets, die man *Pole* nennt, besonders stark. Man kann ihre Lage dadurch bemerklich machen, dass man den Magnet mit Eisenfeile bestreut. Diese bleibt an den Polen in grösserer Menge hängen, als an allen andern Stellen. In der Mitte zwischen zwei Polen findet keine merkliche Anziehung statt.

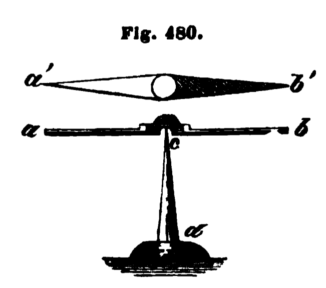
Die Körper, welche von dem Magnet angezogen werden, ohne an und für sich das Vermögen zu besitzen, andere anzuziehen, wie z. B. reines Eisen und Nickel, heissen *paramagnetisch.* In sehr geringem Grad sind noch paramagnetisch: Chrom, Mangan, Platin, Palladium, Cerium, Osmium, Kobalt, Sauerstoff und viele andere zusammengesetzte Körper. Unter der Einwirkung eines Magnets ziehen alle paramagnetische Körper auch wieder andere magnetische und paramagnetische Körper an.

Das Wort Magnet soll von *Magnesia*, einer Stadt in Kleinasien, abstammen, wo die anziehende Kraft des Magnets zuerst beobachtet worden sei. Manche Körper, besonders lange magnetische Stäbe, besitzen zuweilen mehrere Pole, die man *Folgepunkte* nennt. Nach *Berzelius* besteht der Magneteisenstein aus einer chemischen Verbindung von Eisenoxyd und Eisenoxydul, in welcher das erstere vorherrschend ist. Im Innern des Lagers zeigt sich dieses Erz jedoch nicht magnetisch, sondern nur da, wo es zu Tage geht. Man kann nach *Kessler* und *Böttger* dieses magnetische Eisenoxyduloxyd auch künstlich darstellen, indem man einen Hufeisenmagnet in Eisenfeile steckt, und was davon hängen bleibt, mit den Fingern zu einem Stängchen formirt und mit einem Löthrohr tüchtig durchglüht. Dass die magnetische Kraft bei gleichbleibender Entfernung nicht geändert wird, wenn man zwischen dem Magnet und dem angezogenen Körper eine Wand von irgend einem Stoffe anbringt, der selbst dem Magnet nicht folgt, lässt sich leicht zeigen, und es gründen sich darauf viele Spielereien. Ist die Wand aber von Eisen, so wird jene Wirkung geschwächt.

§. 383.

Wenn man einen Magnet an einem Faden aufhängt, so richtet er sich mit dem einen Pol ohngefähr nach Norden, mit dem andern nach Süden. Daher heisst der erste bei uns, *Nordpol*, und der zweite, *Südpol*. Nähert man diesem beweglichen Magnet nun einen andern, so findet man, dasss jeder seiner Pole durch einen ungleichnamigen Pol des letzern angezogen, und durch einen gleichnamigen abgestossen wird. Daraus folgt, dass die zwei Pole eines Magnets von verschiedener Natur sind. Die Pole, die sich anziehen, nennt man auch *freundschaftlich*, die, welche sich abstossen, *feindlich*. Bei der Annäherung einer freihängenden, unmagnetischen Nadel von Stahl oder Eisen, gegen einen Magnet, bemerkt man, dass diese bald eine bestimmte Lage gegen jenen annimmt, und dass sich an ihr ebenfalls zwei Pole gebildet haben. Streicht man eine solche Nadel von ihrer Mitte nach dem einen Ende mit dem einen Pole des Magnets, so entstehen in ihr ebenfalls zwei Pole. In beiden Fällen hat das dem magnetischen Pol nächste Ende der Nadel einen freundschaftlichen oder ungleichnamigen Pol. Beim Stahl und harten Eisen ist diese Magnetisirung von Dauer; beim weichen Eisen ist sie es nicht. Enthält es aber einen Zusatz von Schwefel oder Phosphor, so wird es gleichfalls dauernd magnetisch. In dem Stahl vertritt der Kohlenstoff die Stelle des Schwefels. Auch das Gusseisen, besonders das graue, erlangt durch Härten die Eigenschaft dauernd magnetisch zu werden.

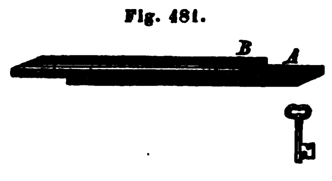
Fig. 480.



Besonders bequem zur Anstellung obiger Versuche ist der in Fig. 480 abgebildete Apparat. Er besteht aus einer Stahlnadel *a b*, deren Grundriss durch *a' b'* angedeutet ist. In der Mitte dieser Nadel ist ein Hütchen von Agat oder Messing, vermöge dessen sie sich um die Stahlspitze *c d* leicht drehen kann. Bestreicht man diese Nadel an dem einen Ende mit dem Pole eines Magnets, so wird sie von diesem angezogen, und vom andern Pole abgestossen.

Die entgegengesetzten Wirkungen der beiden Pole zeigen sich auch bei folgendem Versuch. Man nimmt zwei Magnetstäbe von gleicher magnetischer Kraft und bringt an den einen von beiden nach *A*, Fig. 481,

Fig. 481.



einen eisernen Körper, den er zu tragen im Stande ist. Hierauf legt man auf ihn den andern Magnetstab *B* so, dass der entgegengesetzte Pol *B* dem *A* gegenübersteht. So wie man nun *B* dem *A* nähert, so vermindert sich die Anziehung von *A* und der Schlüssel fällt bei einer gewissen Entfernung von *B* ab.

§. 384.

Wenn ein paramagnetischer Körper mit einem Magnetstab in Berührung gebracht wird, so wird er selbst magnetisch und ist nun selbst im Stande, andere paramagnetische Körper anzuziehen. Hängt man z. B. wie in Fig. 482 ein Stückchen Nickel oder weiches Eisen an einen Magnetstab, so kann man an diesem wieder andere aufhängen. Der untere Pol ist gleichnamig mit dem Pol des Magnetstabes. Auf diese Art kann man mit einem hufeisenförmigen Magnetstab, wie in Fig. 483, eine Kette von einem Pol zum andern bilden.

Fig. 482.

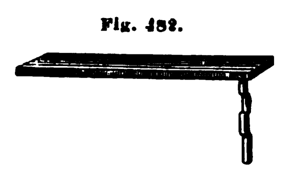


Fig. 483.

Während ein Eisen durch Berührung oder Reibung mit einem natürlichen oder künstlichen Magnete selbst magnetisch wird, verliert dieser nichts von seiner Kraft; im Gegentheil wird nach längerer Zeit seine Stärke durch die Berührung mit Eisen vermehrt. Es geht auch keine Materie in das Eisen über; denn wenn man das vom Magnete abgewendete, magnetisch gewordene Ende eines weichen Drahtes abschneidet, so ist es unmagnetisch. Bricht man dagegen einen Magnet, z. B. eine magnetische Stricknadel, entzwei, so bilden sich augenblicklich wieder in jedem Stücke zwei Pole. Es ist desshalb überhaupt kein Magnet mit *einem* Pole möglich.

Zur Erklärung dieser Erscheinungen nimmt man in dem Eisen zwei verschiedene, unwägbare magnetische Fluida, oder einen Nordpol- und einen Südpol-Magnetismus an, deren Theilchen sich abstossen und die der andern Flüssigkeit anziehen, ohne von einem Massentheilchen des Eisens zum andern übergehen zu können. Die eine dieser Flüssigkeiten kann man die positive, die andere die negative nennen, und erstere durch $+ m$, letztere durch $- m$ bezeichnen. Bei der Annäherung eines magnetischen Pols gegen ein unmagnetisches Eisen erfolgt in diesem eine Scheidung der beiden Fluida. Das gleichnamige Fluidum jedes Massentheilchens wird von dem Magnetpol zurückgedrängt, das ungleichnamige angezogen, und dadurch wird jenes Eisen selbst ein Magnet. Diese Theorie nennt man die *magnetische Vertheilung*. Die Kraft, welche der Trennung beider magnetischen Flüssigkeiten widersteht, nennt man die *Coërcitivkraft*. — Bezeichnen also in Fig. 484 die kleinen Rechtecke die Massentheilchen eines sehr dünnen Eisenstäbchens *a b* oder nur *eine* Reihe seiner Massentheilchen, und nähert man diesem Körper einen Magnet *r* mit dem Nordpol *N*, so bewirkt dieser in allen Massentheilchen eine magnetische Vertheilung, indem er in jedem den Nordpol-

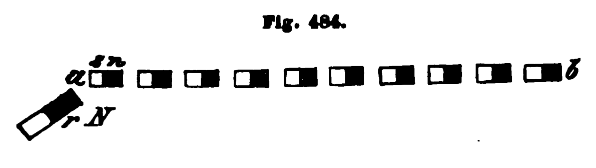


Fig. 484.

Magnetismus, der durch das dunkle Ende angedeutet ist, zurückdrängt und den Südpol-Magnetismus anzieht. Es ordnen sich darum die magnetischen Fluida auf die in der Figur angegebene Weise. Sobald der Magnetstab *r* entfernt wird, hört in dem weichen Eisen und dem Nickel diese Vertheilung auf, in dem Stahl aber dauert sie fort. Stellt *ab*, Fig. 485, einen solchen dauernden Magnetstab vor, und nähert man dem Ende *a* ein Eisentheilchen *c*, so wird auch in diesem eine magnetische Vertheilung bewirkt, vermöge deren das dem *a* gegenüberstehende Ende von *c* entgegengesetzten Magnetismus erhält. Der Nordpol dieses Theilchens *c* wird von dem Südpol des Theilchens 1 stärker angezogen, als es von dem Nordpol desselben abgestossen wird, weil es dem erstern näher ist. Eben so wird *c* von dem Theilchen 2 stärker angezogen als abgestossen. Dasselbe gilt auch von 3, 4, 5 und allen folgenden; nur nimmt wegen der grössern Entfernung die Anziehung immer mehr ab. Versetzt man nun den Magnet *c* nach *f*, so wird sein Nordpol vom Nordpol des Theilchens 2 eben so stark abgestossen, als er vom Südpol des 3 angezogen wird, und vom Südpol des 2 so stark angezogen, als vom Nordpol des 3 abgestossen. Die Wirkungen der Theilchen 2 und 3 auf *f* heben sich also auf, und ebenso die der Theilchen 1 und 4. Dagegen bleibt noch die anziehende Wirkung der Theilchen 5, 6, 7, 8 übrig, die aber wegen ihrer Entfernung schon viel geringer ist, als sie in der ersten Stellung von *c* war. In der Mitte oder in *e* hebt sich die Wirkung von 4 und 5, und ebenso die aller übrigen Theilchen von *ab* auf *e* gegenseitig auf; desshalb erfolgt hier weder Anziehung noch Abstossung. In *d* aber muss der Nordpol von *d* abgestossen werden; denn obgleich auch hier wieder die Wirkungen von 7 und 8 sich aufheben, so stösst doch der Nordpol von 6 den Nordpol von *d* stärker ab, als der Südpol von 6 den Nordpol von *d* anzieht, weil er ihm näher ist. Dasselbe gilt von 5, 4, 3 und allen übrigen. Auch sieht man hieraus, warum die Abstossung des Nordpols von *d* an diesem Ende *b* stärker sein muss als gegen die Mitte. Die Polarität an beiden Enden ist also nur eine Folge davon, dass die resultirende Wirkung auf einen ausserhalb des Magnets *ab* befindlichen magnetischen Körper in der Nähe der Enden am stärksten hervortritt, und nicht, wie man sonst annahm, eine Folge davon, dass die magnetischen Flüssigkeiten sich an den Enden anhäufen. Auch sieht man aus dem Obigen, warum jeder entzwei gebrochene Magnet wieder zwei Pole hat. Eben so leicht ist nun einzusehen, dass die Lage von *c* der resultirenden Kraft, die aus den Wirkungen aller Theilchen 1, 2, 3 u. s. w. hervorgeht, entsprechen oder nach dem nächsten Pol gerichtet sein muss; der Pol selbst ist aber nur der Ort, nach welchem vermöge jener resultirenden Kraft das Theilchen *c* und jedes ähnlich liegende sich richtet.

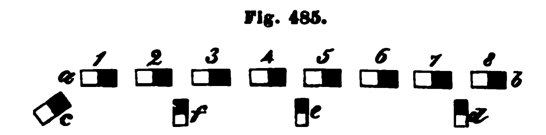
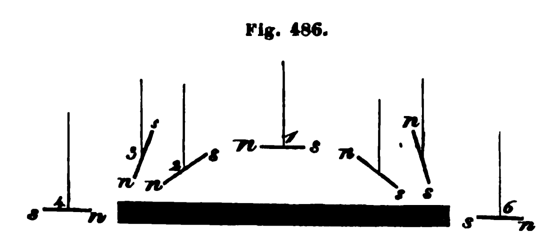


Fig. 485.

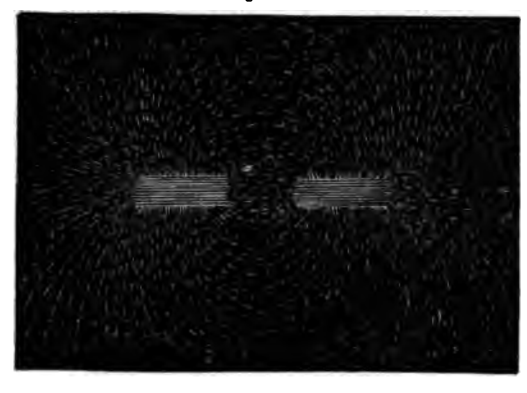
Van Rees hat es wahrscheinlich gemacht, dass in einem Magnetstab die magnetische Kraft der einzelnen Theilchen nicht überall gleich, sondern in der Mitte am meisten entwickelt sei. Nun ist ein Magnetstab nicht aus einer, sondern aus vielen neben und über einander liegenden Reihen solcher Massentheilchen zusammengesetzt. Ist aber die magnetische Vertheilung in diesen nicht überall ganz gleich, so ist die Lage der Pole auch nicht so leicht zu bestimmen; dennoch sieht man nach dem Vorhergehenden ein, warum sie auch in diesem Falle nahe an den Enden des Magnetstabes liegen müssen. Hängt man darum, wie in der Fig. 486, ein Stückchen Eisendraht in seinem Schwerpunkt an einem Faden auf, und bringt man es über die Mitte eines Magnetstabs *SN* nach 1, so entsteht durch die Vertheilung dem Südpol *S* gegenüber ein Nordpol *n*, und dem Nordpol *N* gegenüber ein Südpol *s*; indem nun *s* von *N* so stark angezogen wird als *n* von *S*, so muss die Lage von *ns* parallel mit *NS* werden. Bringt man das Eisenstäbchen dagegen an eine dem *S* nähere Stelle 2, so senkt sich der Nordpol herab, weil *n* von *S* stärker angezogen wird als *s* von *N*. Gerade über dem Südpol *S* in 3 stellt es sich senkrecht zu *SN*; eben so über *N*. Eben so leicht ist es nun, die Lagen zu finden, die es in andern Punkten annehmen muss.

Fig. 486.



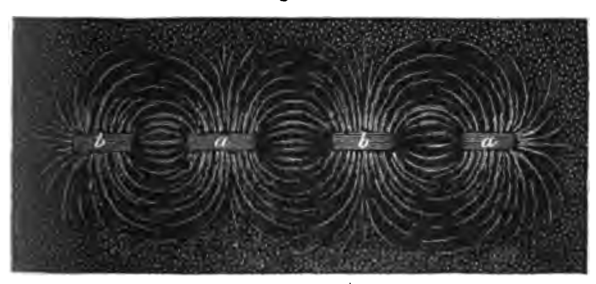
Dieselben Stellungen erhält man mit einer magnetischen Stahlnadel. Denkt man sich nun, um den Magnetstab *NS* hängen eben so viele Eisenstäbchen als hier gezeichnet sind, so werden sie die nämlichen Lagen annehmen müssen, und diese noch beharrlicher behaupten, weil jedem *s* in dem einen ein *n* von dem nächsten gegenüber steht. Alle diese Stäbchen bilden alsdann eine Art Kette oder Kurve von einem Pol zum andern. Würde man zwei Reihen solcher Stäbchen neben einander aufhängen, so würden die gleichnamigen Pole, die neben einander zu liegen kommen, sich abstossen, und also zwischen beiden Kurven ein freier Raum entstehen. Dadurch erklären sich die magnetischen Kurven, Fig. 487, welche man durch folgenden Versuch erhält: Man stellt unter ein Papier, welches über ein Rähmchen gespannt ist, einen Hufeisen-Magnet, und streut Eisenfeile auf das Papier, während man ein wenig auf den Tisch klopft. Die Eisentheilchen ordnen sich alsdann so, dass sie von einem Pol zum andern gleichfalls mehrere Ketten bilden.


Fig. 487.



Bestreicht man das erste Drittheil eines Stahlstabs oder einer Stricknadel mit dem Nordpol, das zweite in gleicher Richtung mit dem Südpol, das dritte wieder mit dem Nordpol eines Magnetstabs, so ist die Vertheilung im zweiten Drittheil der im ersten und dritten entgegengesetzt; die Punkte, an welchen die entgegengesetzten Vertheilungen an einander grenzen, heissen *Folgepunkte*, und können auf gleiche Weise, wie oben durch Bestreuen mit Eisenfeile nebst den von Pol zu Pol gehenden magnetischen Kurven, wie in Fig. 488, sichtbar gemacht werden.

Fig. 488.



Einen Körper magnetisiren heisst also, die zwei magnetischen Flüssigkeiten von einander trennen; und ihn entmagnetisiren, heisst sie wieder vereinigen. Hängt man ein weiches Eisen an einen Magnetpol, so wird es selbst ein Magnet; nähert man aber dem ersten Pol einen andern Magnet mit dem freundschaftlichen Pol, wie in §. 383, so fällt das Eisen ab, weil die Vertheilung seines Magnetismus aufhört. Jede freihängende Nadel von Eisen zeigt ihre Polarität bei Annäherung eines Magnets dadurch an, dass sie gegen diesen eine bestimmte Lage annimmt. Hängen zwei Nadeln vertikal und dicht neben einander, so stossen sie sich beim Annähern eines starken Magnets ab, weil die Pole, die durch Vertheilung in ihnen entstehen, sowohl an den obern, als an den untern Enden unter sich gleichnamig sind. Taucht man die Pole zweier Magnetstäbe in Eisenfeile und nähert sie einander, so stossen sich die Eisentheilchen bald ab, bald ziehen sie sich an, je nachdem gleichnamige oder ungleichnamige Pole sich gegenüber stehen.

Das weiche Eisen wird durch jede Störung in dem Gleichgewichte seiner Massentheilchen magnetisch. Hält man einen Eisentab vertikal und schlägt man auf eines seiner Enden mit einem Hammer, so wird er polarisch; schlägt man ihn in umgekehrter Lage, so wechselt er die Pole. Durch Druck und Windung erfolgt dasselbe, und daher sind alle eisernen Geräthschaften, nachdem sie eine Zeitlang gebraucht sind, magnetisch. *Knight* und *Ingenhouz* bildeten Kugeln aus Eisenfeile, Thon und Leinöl oder Käse und lebendigem Kalk, in denen man durch Berührung mit einem Magnete so viele Pole erzeugen kann, als man will. Auch auf reingescheuerten Stahlplatten kann man durch magnetische Vertheiluug eine Reihe von magnetischen Polen erzeugen. Wenn man z. B. mit einem in der Nähe eines Pols abgerundeten Magnete Figuren darauf zeichnet, und die Stahlplatte mit Eisenfeile bestreut, so wird sie an den vom Magnet berührten Stellen festgehalten.

B. Erdmagnetismus.

§. 385.

Wenn man eine Stahlnadel genau in ihrem Schwerpunkte an einem Faden aufhängt, und sie nachher durch Reiben mit einem Magnete selbst magnetisch macht, so nimmt sie nach einigen Schwankungen eine bestimmte Lage an, welche in Deutschland von Nord-Nordwest nach Süd-Südost geht. Zugleich senkt sich der nach Norden gerichtete Theil herab und bildet mit dem Horizonte einen Winkel von beinahe 70 Gra-

den. Die vertikale Ebene, in welcher die Nadel sich alsdann befindet, heisst der *magnetische Meridian*, das nach Norden gerichtete Ende derselben ihr *Nordpol*, das andere der *Südpol*. Der Winkel, welchen der magnetische Meridian mit dem geographischen bildet, heisst die *Abweichung (Declination)*, und der Winkel, welchen die Nadel mit dem Horizonte macht, die *Neigung (Inclination)*. Ganz ähnliche Erscheinungen nimmt man wahr, wenn man eine kleine, horizontal an einem Faden schwebende Magnetnadel in die Nähe eines grössern Magnets bringt. Wenn sie über der Mitte zwischen beiden Polen hängt, so ist sie aus den im §. 384 angegebenen Ursachen horizontal; so wie sie darüber hinaus entfernt wird, so senkt sich der eine Pol herab, und wenn man sie nach einer dazu senkrechten Richtung entfernt, so weicht sie auch in der horizontalen Richtung von ihrer frühern Lage ab. Die Erde wirkt also auf einen Magnet, wie ein grösserer Magnet auf einen kleineren, und muss also selbst eine magnetische Kraft besitzen.

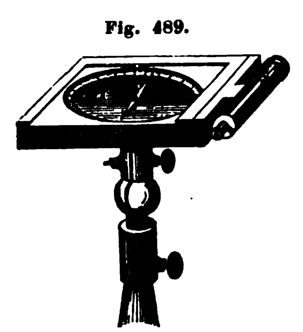
Die magnetische Kraft der Erde, welche den Nordpol einer Nadel anzieht, muss ihr entgegengesetzt sein, und daher nennen Manche den nach Norden gerichteten Pol einer Nadel ihren Südpol.

Von dem Dasein der magnetischen Kraft der Erde überzeugt man sich leicht, indem man eine etwa 3 Fuss lange, unmagnetische Stange von weichem Eisen in die Lage bringt, welche die Inclinationsnadel angibt. Stellt man eine Magnetnadel neben ihr unteres Ende, so wird sie von diesem wie von einem Nordpol angezogen. Ebenso ist es, wenn man die Stange nachher umkehrt. Ihr Nord- und Südpol-Magnetismus ist also unter dem Einflusse des Erdmagnetismus vertheilt worden. Daraus erklärt sich auch, warum vertikale Eisenstangen nach längerer Zeit dauernd magnetisch werden, und warum eine Stahlnadel, die man mit einer dicken eisernen Zange nur einige Minuten lang in vertikaler Lage hält, schon schwach magnetisch wird.

§. 386.

Zur Bestimmung der Declination bedient man sich, wenn es auf keine grosse Genauigkeit ankommt, des *Declinatoriums*, Fig. 489. Es besteht im Wesentlichen aus einer Magnetnadel, die sich mittelst eines Agathütchens auf einer Spitze von hartem Stahle dreht. Diese Nadel befindet sich in einem rechtwinklichten Glaskasten, von welchem zwei Wände mit der Linie, die von dem Nullpunkt der Kreistheilung durch das Centrum geht, um welches sich die Nadel dreht, parallel sind. Mit dieser Linie ist auch die Achse eines an der Seite angebrachten Fernrohrs parallel. Dieses wird auf ein Meridianzeichen gerichtet. Der Winkel, welchen die Nadel alsdann mit der Mittellinie bildet, ist die *Declination*, und wird durch die Gradeintheilung angegeben. Bei der *Boussole* ist die Einrichtung dieselbe, nur vertritt die Stelle des Fernrohrs ein Diopterlineal. Sie dient zu manchen Zwecken in der Messkunst. Soll durch sie der Meridian eines Ortes bestimmt werden, so muss die Declination der Nadel an demselben bekannt sein. Zuweilen ist letztere auf dem Kreis der Boussole durch einen Strich angegeben. Da sich jedoch die Declination mit der Zeit verändert, und an verschiedenen Orten der Erde sehr verschieden ist, so ist diese Ein-

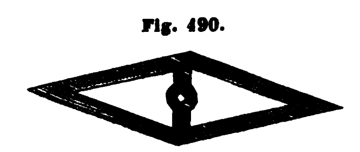
Fig. 489.



richtung nicht zweckmässig. Dasselbe gilt auch für die *Orientirnadeln*, den *Schiffscompass* und den *Markscheidecompass*. Letzterer unterscheidet sich nur dadurch von der Boussole, dass der Halbkreis in 12 Stunden, statt in 180° getheilt ist. Die Chinesen sollen den Compass schon 1100 Jahre vor Christi Geburt erfunden haben. In Europa wurde er erst im 13ten Jahrhundert bekannt.

Die Declination wird genauer gefunden, wenn man das in Fig. 480 abgebildete Hütchen aus der Nadel herausnehmen und wieder in entgegengesetzter Lage hineinstecken kann, und das Mittel aus den beiden in diesen Lagen beobachteten Declinationen nimmt. Nach *Kater's* und *Lamont's* genauen Messungen ist die beste Form für Compassnadeln das in Fig. 490 abgebildete, durchbrochene Rhomboëder. Die Breite beträgt 2'', die Länge 5''. Sie wird, wie alle Magnetnadeln, am besten aus sogenanntem *Huntsmanns*-Stahle verfertigt, bei der Rothglühhitze gehärtet und so temperirt, dass man sie von der Mitte aus bis zu einem Zoll von jedem Ende anlaufen lässt, bis die blaue Farbe verschwindet. Andere geben den Nadeln die in Fig. 480 abgebildete Gestalt. Jedenfalls muss dann ihre Breite wenigstens $^1/_{40}$ ihrer Länge und die Dicke $^1/_4$ ihrer Breite betragen. Am besten ist es nach Lamont, wenn man mehrere dünne und flache Nadeln von der eben angegebenen Form über einander legt und in der Mitte durch kleine Messingstücke um 2 Millim. von einander entfernt hält. Bei den Schiffscompassen legt man jetzt drei Nadeln nebeneinander.

Fig. 490.

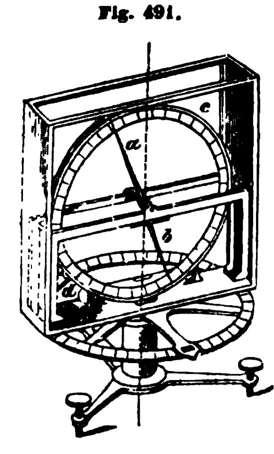


Die *Declination* der Magnetnadel ist sehr verschieden, sowohl dem Ort als der Zeit nach. Nach *Lamont* war sie am 1. Januar 1858 in Brüssel 19° 16', Lissabon 21° 40', Madrid 20° 8', Paris 19° 36', Bonn 17° 36'. Hannover 16° 25', Königsberg 10° 12', München 14° 54,5'. Im Jahr 1616 war sie im grössten Theil von Deutschland gleich Null und vor dieser Zeit östlich. Ihre westliche Abweichung nimmt gegenwärtig um 4 bis 5 Minuten jährlich ab.

§. 387.

Zur Bestimmung der Inclination dient das *Inclinatorium*, Fig. 491. Es enthält eine sehr empfindliche Magnetnadel *ab* mit horizontaler, durch den Schwerpunkt gehender Achse. Dieser Schwerpunkt muss vor der Magnetisirung der Nadel bestimmt werden. Der vertikale getheilte Kreis *cd*, welcher in der Ebene des magnetischen Meridians aufgestellt wird, und in dessen Ebene die Magnetnadel sich dreht, gibt die Neigung derselben an. Der Horizontalkreis hat den Zweck, dem Vertikalkreis verschiedene Neigungen gegen den magnetischen Meridian zu geben, oder auch um ihn genau um 180° drehen zu können. Weil die gerade Linie, welche die Pole der Magnetnadel mit einander verbindet, oder die magnetische Achse, nicht immer durch den Schwerpunkt der Nadel geht, so muss man bei der Bestimmung der Inclination einmal die Nadel in ihren Achsenlagen so umdrehen, dass die vordere Seite die hintere wird, und das Mittel aus beiden Beobachtungen nehmen, sodann die Pole der Nadel durch Bestreichen mit einem Magnet umkehren, auf gleiche Weise wie vorhin ihre Inclination zweimal beobachten, und aus allen vier

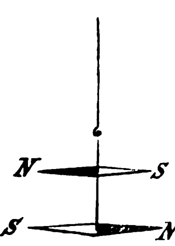
Fig. 491.



Beobachtungen das Mittel nehmen. Dreht man nachher die Ebene des Vertikalkreises um 180° des Horizontalkreises, und wiederholt man obige vier Beobachtungen in gleicher Weise, so erhält man zur genauern Bestimmung des Mittels im Ganzen acht Zahlen.

Um sehr geringe Grade von Magnetismus zu entdecken, und zu vielen andern, später vorkommenden Untersuchungen, dient eine *astatische* Magnetnadel, Fig. 492. Sie besteht aus zwei Magnetnadeln von möglichst gleicher magnetischer Stärke, die so mit einander verbunden und an einem Coconfaden aufgehängt sind, dass der Südpol der einen sich unter dem Nordpol der andern befindet. Dadurch bewirkt man, dass keine Nadel eine bestimmte Richtung annehmen kann, oder wenn es geschieht, dass die geringste Kraft diese Richtung zu ändern im Stande ist. Man kann zwei Nadeln dadurch gleichstark magnetisch machen, dass man sie einzeln an Coconfäden aufhängt, und so lange mit einem schwachen Magnetstabe streicht, bis sie beide in gleichen Zeiten gleichviele Schwingungen machen. Eine Magnetnadel, welche sich nur in einer zur Inclinations-Nadel senkrechten Ebene drehen kann, ist ebenfalls astatisch, weil sie in jeder Lage stehen bleiben muss.

Fig. 492.

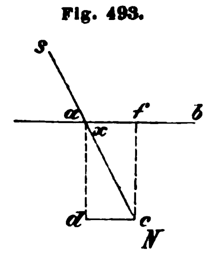


Die Inclination ist ebenfalls sehr verschieden. Sie betrug z. B. nach *Lamont* am 1. Januar 1858 in Brüssel 67° 40', Lissabon 60° 39', Madrid 60° 6', Paris 66° 36', Hannover 67° 50' Königsberg 68° 49', München 64° 39,5'. Die Inclination, so wie die Abstossung der gleichnamigen Pole hat *Georg Hartmann* zu Nürnberg im Jahr 1543 entdeckt.

§. 388.

Die in ihrem Schwerpunkte aufgehängte Magnetnadel folgt nach §. 385 der Richtung der auf sie wirkenden parallelen, anziehenden und abstossenden Kräfte des Erdmagnetismus, und die Lage, welche sie annimmt, kann daher als die aus dem Erdmagnetismus resultirende Richtung einer freischwebenden Magnetnadel angesehen werden. Da aber durch diese resultirende Kraft keine fortschreitende Bewegung der Nadel, sondern nur eine drehende hervorgebracht wird, so muss die anziehende Kraft des Erdmagnetismus der abstossenden gleich sein, und auch das $+ M$ oder der Nordpol-Magnetismus der Nadel, mit dem $- M$ oder Südpol-Magnetismus derselben gleiche Stärke haben.

Fig. 493.



Bezeichnet in Fig. 493 ab den Horizont und SN die Richtung der Resultante des Erdmagnetismus, so ist x der Inclinationswinkel. Stellt nun die Linie ac die Grösse der ganzen erdmagnetischen Kraft T vor, und zerlegt man sie in eine horizontale af und in eine vertikale ad oder fc, so ist die horizontale Magnetkraft $= T \cos x$ und die vertikale $= T \sin x$.

Um die Inclination zu bestimmen, kann man auch das Inclinatorium, Fig. 491, auf andere Art benutzen. Man lässt die Inclinationsnadel zuerst in der Ebene des magnetischen Meridians und dann in einer dazu senkrechten Ebene schwingen. Die Anzahl der in einer gewissen Zeit bei der ersten Lage vollbrachten Schwingun-

gen sei N, und die in der zweiten $= n$. Bei den ersten Schwingungen wirkte die ganze Kraft des Erdmagnetismus $= T$, und bei den letztern nur der vertikale Theil derselben, welcher $= T \sin x$ ist, wenn x die Inclination bezeichnet. Da nun nach den Pendelgesetzen die bewegenden Kräfte sich wie die Quadratzahlen der Schwingungen verhalten, so ist.

$$\frac{T \sin x}{T} = \frac{n^2}{N^2} \text{ oder } \sin x = \frac{n^2}{N^2}.$$

Dass die horizontale Wirkung des Erdmagnetismus auf die Inclinationsnadel ganz aufhört, wenn die Schwingungen derselben in einer zum magnetischen Meridian senkrechten Ebene erfolgen, kann man auch daran sehen, dass die Inclinationsnadel in dieser Lage sich vollkommen vertikal stellt, wenn sie zur Ruhe gekommen ist. Diess ist zugleich ein Mittel, um den magnetischen Meridian zu finden; denn hat man die Lage gefunden, in welcher die Inclinationsnadel vertikal steht, so darf man die Ebene des Kreises, in welchem sie schwingt, nur um 90° drehen, um den magnetischen Meridian zu erhalten. Zu der oben beschriebenen Methode, die Inclination durch Schwingungen zu finden, dient auch der in Figur 494 abgebildete einfache Apparat. Der cylindrische Magnetstab *ab* steckt in einer stählernen Hülse *c*, in welcher er vor der Magnetisirung mit Hülfe der kleinen Schraube *c* festgemacht wurde. Die conischen Spitzen seiner Achse liegen in gerader Linie mit seinem Schwerpunkte, und drehen sich sehr leicht und mit geringer Reibung auf der schiefen Fläche des gabelförmigen, messingenen Gestelles *pq*. Dieser Apparat wird auf eine horizontale Fläche gestellt, auf welcher der magnetische Meridian vorher bestimmt ist.

Fig. 494.

Die Wirkungsart der beiden Kräfte oder des $+ M$ und des $- M$ kann man sich dadurch versinnlichen, dass man sich ein Stäbchen vorstellt, welches zur Hälfte aus Elfenbein und zur Hälfte aus Korkholz besteht, und gleiche spezifische Schwere mit dem Wasser hat. Dieses Stäbchen sinkt und steigt nicht, wenn es in Wasser getaucht wird; aber sein schweres Ende sucht die tiefste, ein leichtes Ende die höchste Stelle einzunehmen; es erfolgt daher eine drehende Bewegung desselben, wenn es aus der vertikalen Lage gebracht wird, wie bei der nclinationsnadel, wenn man sie aus der Richtung der resultirenden Kraft des Erdnagnetismus in eine andere Lage versetzt.

§. 389.

Aus den in den §§. 386 und 387 angeführten Beobachtungen der Declination und Inclination für verschiedene Orte der Erde sieht man, lass sie nicht überall gleich, sondern sehr verschieden sind. Man kann liejenigen Orte, an welchen die Declination gleich gross ist, durch Linien erbinden, die *isogonisch* heissen. Die Linien, welche man sich durch Orte mit gleicher Inclination gezogen denkt, werden *isoclinisch* genannt. Mit Hilfe der letztern könnte man, wenn man annehmen wollte, die Erde besässe selbst zwei oder mehrere magnetische Pole, die Lage derselben bestimmen; indem die Inclination mit der Annäherung an diese Pole zunehmen muss (wie der im §. 384 beschriebene Versuch beweist) und in den Polen selbst 90° beträgt, die horizontale Intensität des Erdmagnetismus daselbt aber gleich Null ist. Nach früheren Untersuchungen glaubte man zur Annahme von zwei Nord- und zwei Südpolen berechigt zu sein; *Gauss* hat jedoch in neuerer Zeit bewiesen, dass es nur *inen* Nord- und *einen* Südpol geben kann. Den ersten dieser Pole hat *James Ross* bei der Reise seines Oheims, des Kapitäns *John Ross*, im Jahr 1831, in 280° 54′ 42″ östlicher Länge und 70° 5′ 17″ nördlicher Breite aufgefunden, indem dort die Inclinations-Nadel 90° weniger 1 Minute zeigte. Bei der Unvollkommenheit der früheren Beobachtungen macht die von *Gauss* theoretisch bestimmte Lage des letztern in 72° 35′

südlicher Breite und 152° 30′ Länge von *Greenwich* keinen Anspruch auf Genauigkeit.

Unter 76° 6′ südlicher Breite und 168° 11′ östlicher Länge von Greenwich fand *James Ross* bei seiner Entdeckungsreise nach dem Südpolarmeere im Jahr 1841 die Inclination 88° 37′. Aus dieser und einigen andern in der Nähe angestellten Beobachtungen ergibt sich, dass die damalige Lage des magnetischen Südpols unter ohngefähr 154° Länge und 75½° südlicher Breite gewesen sein mag.

Isogonische Linien, in welchen die Declination gleich Null ist, gab es nach *Erman* im Jahre 1829 auf der Erde nur 2. Die eine geht vom weissen Meere durch Russland, das kaspische Meer, zieht um die Halbinsel Indiens diesseits des Ganges herum, wendet sich dann wieder nach Norden, durchschneidet die Halbinsel jenseits des Ganges, zieht dann nördlich bei Irkutzk vorüber bis zum 70sten Grad nördlicher Breite; hierauf geht sie zwischen Kamtschatka und Japan hindurch, wieder zur Halbinsel jenseits des Ganges, und durchschneidet das indische Meer und Neuholland in der Richtung nach Süden. Die andere geht vom Südpole durch's atlantische Meer, tritt nördlich von Rio-Janeiro in's Festland von Amerika, und durchschneidet Amerika in nördlicher Richtung, bis sie in dem Polar-Eis der Hudsonbay sich verliert. Die isogonischen Linien der Orte, an denen die Abweichung entweder östlich oder westlich ist, sind bald geschlossen, bald nicht, und haben überhaupt eine sehr verschiedene Gestalt. Diejenigen Gegenden der Erde, welche westlich von der zuerst beschriebenen Linie ohne Abweichung bis zu der andern Linie ohne Abweichung liegen, haben eine westliche Abweichung, und die übrigen eine östliche. Die isoclinische Linie, in welcher die Neigung der Magnetnadel gleich Null ist, heisst der *magnetische Aequator* der Erde. Nach *Morlet* ist derselbe kein Kreis, sondern eine Kurve von doppelter Krümmung mit vielen Biegungen. Er hat zwei Durchschnittspunkte mit dem Aequator der Erde, in deren Nähe seine Biegungen besonders auffallend sind. Diese Durchschnittspunkte oder Knoten sind aber veränderlich und rücken gegenwärtig in der Richtung von Ost nach West fort. Der eine Knoten hatte im Jahr 1822 die Länge 3° 45′, der andere im Jahr 1825 die Länge 170° 55′. Im Jahr 1788 war dagegen die Länge von beiden Knoten 17° und 180°. In ohngefähr 60° Länge hat der magnetische Aequator seine grösste nördliche Entfernung mit etwa 15°, und in 340° Länge seine grösste südliche Entfernung mit 12°. Je weiter man von dem magnetischen Aequator nach Norden oder Süden kommt, wenn man in einem magnetischen Meridian, oder in einer zum magnetischen Aequator senkrechten Kreislinie fortgeht, desto stärker muss im ersten Falle der Nordpol, im zweiten der Südpol der Magnetnadel sich senken. Die isoclinischen Linien sind aber dessen ungeachtet dem magnetischen Aequator nur ohngefähr parallel und haben ohngefähr die Richtung der Isothermen.

Hansteen und *Barlow* haben Declinations-Karten entworfen, welche ein deutliches Bild der Abweichung auf den verschiedenen Punkten der Oberfläche unserer Erde geben. Eben so haben *Hansteen*, *Erman d. J.* und *Duperrey* Karten für die Inclination entworfen. Der letzte nimmt aber für den magnetischen Aequator die Linie an, in welcher die Inten-

sität des Erdmagnetismus am geringsten ist, und weicht also darin von den andern ab.

Gauss hat aus den gegebenen Beobachtungen und mit Hilfe seiner Theorie des Erdmagnetismus im Jahr 1838 die Gestalt der isogonischen und isoclinischen Linien berechnet und gleichfalls in besondern Karten verzeichnet. Darin sind auch die Kurven gleicher Intensität enthalten.

§. 390.

Auch die Kraft des Erdmagnetismus ist nicht an allen Orten der Erde gleich. Sie nimmt von den wärmern nach den kältern Gegenden zu, und ihr Minimum fällt nach Beobachtungen in Südafrika auch dahin, wo die grösste Wärme auf der Erde herrscht. Wahrscheinlich aus demselben Grunde ist sie in Asien grösser als in dem wärmeren Europa, und in Amerika grösser als in Asien. Die Linien, welche auf der Erdkugel durch Orte gedacht werden, an welchen die Intensität des Erdmagnetismus gleich gross ist, nennt man *isodynamisch*. Sie sind geschlossen und dem magnetischen Aequator der Erde nicht parallel, wohl aber haben sie ohngefähr gleiche Richtung mit den im §. 365 angeführten isothermischen Linien. Die Intensität des Erdmagnetismus wächst, wenn man sich nach Norden oder Süden von dem magnetischen Aequator entfernt. Darum ist die Linie ohne Inclination nahezu die der schwächsten Intensität. An den Magnetpolen scheint die Intensität ohngefähr $1\,{}^1\!/_2$mal so gross zu sein, als am magnetischen Aequator. Doch ist die Intensität des Erdmagnetismus am magnetischen Aequator nicht constant; auch nimmt sie nicht überall mit der Inclination zu. Mit der Höhe nimmt nach *Kupfer* die Intensität des Erdmagnetismus so ab, dass eine Nadel, deren Schwingungsdauer = 24″ ist, für je 1000 Fuss Höhe um 0,01″ langsamer schwingt. Nach *Forbes* ist die Intensität in 1000 Fuss Höhe nur um $\frac{1}{1000}$ geringer. Um die horizontale magnetische Kraft der Erde an verschiedenen Punkten mit einander zu vergleichen, wäre eine horizontale Magnetnadel nothwendig, deren Stärke und Empfindlichkeit sich nicht verändert. Nach den Pendelgesetzen wäre alsdann das Verhältniss der magnetischen Kräfte dem quadratischen Verhältnisse der in gleichen Zeiten mit dieser Nadel erhaltenen Schwingungszahlen gleich. Es ist inzwischen unmöglich, die magnetische Intensität einer solchen Nadel beständig bei gleicher Stärke zu erhalten, weil sie durch den Einfluss der Wärme und in die Nähe kommender Eisenmassen, so wie durch die Länge der Zeit verändert wird. Aus der horizontalen Intensität und der Inclination ergibt sich nach §. 388 die ganze Intensität des Erdmagnetismus, indem man erstere durch den Cosinus der Inclination dividirt.

Bei Versuchen über die Stärke des Erdmagnetismus, die keine grosse Genauigkeit erfordern, genügt eine möglichst gehärtete Stahlnadel, die in einem Glaskasten an einem Seidenfaden aufgehängt ist. Die Schwingungen werden von dem Augenblick an gezählt, wo ihre Schnelligkeit einen gewissen Grenzwerth erreicht hat, indem sie bei einem grössern Schwingungsbogen langsamer sind. Wegen des Einflusses der Wärme auf die Stärke des Magnetismus ist es nicht gleichgültig, bei welcher Temperatur die Schwingungen gezählt werden. Nennt man die Zahl der Schwingungen in einer bestimmten Zeit, z. B. in 10 Minuten n bei t^0 und $n_,$ bei $t_,^0$, so ist nach der Erfahrung

$$n = n_, \, [1 - a\,(t_, - t)].$$

Den Coëfficienten a bestimmt man dadurch, dass man das Stäbchen in Räumen von sehr verschiedenen Temperaturen t und t_1 schwingen lässt und die Schwingungen n und n_1 zählt. Will man aus dem Verhältniss der horizontal wirkenden Kräfte, welches auf obige Art bestimmt wird, das Verhältniss der ganzen magnetischen Kräfte finden, so muss man jene, wie oben bemerkt, durch den Cosinus der Inclination dividiren. *Hansteen* hat im Jahre 1830 eine Karte für die ganze magnetische Kraft an der Oberfläche der Erde herausgegeben, und die von *Humboldt* unter 7° südlicher Breite und 3° östlicher Länge von *Ferro* beobachtete Kraft als Einheit zu Grunde gelegt, obschon sie bei Weitem nicht die kleinste ist. Darnach ist in New-York die magnetische Kraft, die von ihm beobachtet wurde, gleich 1,8. Genauere Untersuchungen werden später vorkommen.

§. 391.

Aus den im vorigen §. angegebenen Gründen ist es unmöglich, Magnetnadeln von unveränderlicher Stärke zu erhalten. Um aber dennoch die Stärke des Erdmagnetismus auf den verschiedenen Punkten der Erde und zu verschiedenen Zeiten vergleichen zu können, und zwar unabhängig von der Stärke der Magnetnadel, so wie zur genauern Bestimmung der Declination und der Veränderungen in der magnetischen Richtung überhaupt, hat *Gauss* einen grösseren, sehr sinnreichen Apparat, Fig. 495, angegeben, welchen er das *Magnetometer* nannte. Dieses besteht aus einem mehrere Pfunde schweren Magnetstabe ab, welcher in dem an ungedrehten Coconfäden ff hängenden Schiffchen cd liegt. An dem Ende b des Magnetstabes befindet sich die *Poggendorff*'sche Spiegelvorrichtung, nämlich ein Spiegelhalter mit einem Planspiegel sss, dessen Ebene durch eine besondere Vorrichtung vollkommen senkrecht zur Achse des Magnets gestellt werden kann. Dem Spiegel gegenüber, in der

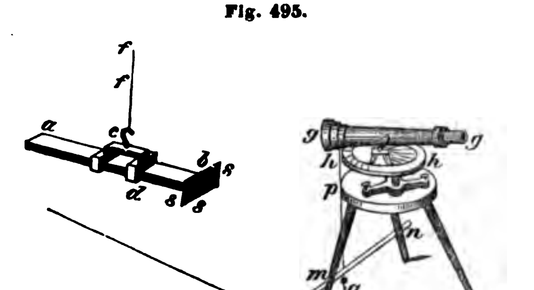


Fig. 495.

Richtung des magnetischen Meridians, befindet sich in einer Entfernung von 15 Fuss ein Theodolith $gghh$, dessen Fernrohr gegen die Mitte des Spiegels gerichtet ist. An dem Fussgestelle des Theodolithen ist eine horizontale Scala mn befestigt, deren Bild man im Spiegel s mittelst des Fernrohrs gg erblickt. Ueber die Mitte des Objectivglases von letzterem hängt ein feines Loth pq herab; so dass das Fadenkreuz des Fernrohrs, dieses Loth und die Achse des Magnets in der Ebene des magnetischen Meridians liegen. Der Punkt, wo der Faden des Loths die Scala mn durchschneidet, ist der Mittelpunkt der Scala, welche in 1000 Millimeter getheilt ist. Die mindeste Veränderung in der Stellung der Magnetnadel ist mit einer Aenderung in der Lage des Spiegels gegen die Scala verbunden. Ist nämlich die Achse des Fernrohrs senkrecht zur Ebene des Spiegels, so ist sie parallel mit der Achse des Magnets, und die Mitte der Scala, der Faden des Loths und der vertikale Faden des Fadenkreuzes im Theodolithen decken einander. Im Augenblick aber, in welchem der Magnetstab mit seiner dem Fernrohr zugewendeten [illegible]fte sich rechts dreht, bewegt sich die Scala im Spiegel links von

lem Fadenkreuz und umgekehrt. Diese Drehung ist aber mit einer viel stärkern Veränderung in dem Spiegelbilde der Scala verbunden, wie nan aus dem Abstande des Spiegels von der letztern leicht sieht, und es können daher alle entstehenden Abweichungen mit der grössten Schärfe gefunden werden, wenn berechnet ist, wie viele Scalentheile auf einen Drehungswinkel von einem Grad gehen. Die Declination der Achse des Fernrohrs, wenn das Loth auf dem Mittelpunkte der Scala sich befindet, und von dem Fadenkreuze gedeckt wird, findet man dadurch, dass man das Fernrohr nachher auf einen im geographischen Meridian befindlichen Punkt richtet, und den durchlaufenen Bogen auf dem Horizontalkreise *hh* des Theodolithen abliest. Das ganze Magnetometer befindet sich in einem besondern eisenfreien Saale. Auf der dem Theodolithen gegenüber befindlichen Wand ist in gerader Linie mit der einmal beobachteten Richtung der Magnetnadel ein vertikaler Strich (die *Mire*) angebracht. Wenn das Fadenkreuz des Fernrohrs diesen bedeckt, so hat das Fernrohr immer wieder dieselbe Lage, wie bei jener ersten Bestimmung der Declination; macht also jetzt die Magnetnadel einen Winkel mit dieser Richtung, so wird die Scala im Spiegel verschoben erscheinen, und aus der Zahl der Scalentheile die Veränderung in der Declination der Magnetnadel gefunden werden. Um den Luftzug abzuhalten, ist das Gebäude sehr wohl verschlossen, und die Magnetnadel von einem Kasten umgeben, der nur so viel Oeffnung hat, als nöthig ist, um den Spiegel durch das Fernrohr sehen zu können. Ausserdem befindet sich in dem magnetischen Observations-Saale eine astronomische Uhr zu Zeitbestimmungen, und ein anderer Magnetstab, der sogenannte *Beruhigungsstab*, und mehrere Messstangen.

Damit die Mire an der Wand in dem Fernrohr gleiche Deutlichkeit habe, wie die Scala, muss sie doppelt so weit von dem Fernrohr entfernt sein als der Spiegel. Der Magnetstab muss darum in der Mitte zwischen dem Theodolithen und der gegenüberstehenden Wand aufgehängt werden. Die Coconfäden, welche das Schiffchen und den Magnetstab tragen, sind so lang, dass sie bis an die Decke des Zimmers reichen. Dort ist ein Träger mit einer Hebeschraube befestigt, um den daran gebundenen Faden heben und senken zu können. Der Beruhigungsstab ist ein Magnetstab, welcher halb so lang und breit ist als der Hauptmagnet. Er dient dazu, um den letztern sowohl in stärkere als in schwächere Schwingungen zu versetzen. Hält man ihn hinter dem Theodolithen so, dass er horizontal aber senkrecht zum magnetischen Meridian ist, so bringt er vermöge der Abstossung des einen und der Anziehung des andern Pols eine Ablenkung des Hauptmagnets *ab* hervor, welche nach der Lage seines Nordpols bald östlich, bald westlich ist. Diese Ablenkung wird aber immer geringer, je mehr sich der Beruhigungsstab der vertikalen Lage nähert, und hört in derselben ganz auf, weil alsdann der eine Pol den zugewandten Pol des Hauptmagnets so stark abstösst, als ihn der andere anzieht.

Einen eben so sinnreichen Apparat, als das Magnetometer, hat *Gauss* zur Bestimmung der täglichen Veränderungen in der horizontalen magnetischen Kraft der Erde, unter dem Namen *Bifilar-Magnetometer*, angegeben. Dieses besteht gleichfalls aus einem Magnetstab, der an zwei von seinem Schwerpunkt gleichweit entfernten parallelen und gleich-

langen Drähten aufgehängt ist. Durch Drehung der Scheibe, an welcher die Drähte befestigt sind, wird der Magnetstab in eine zum magnetischen Meridian senkrechte Lage gebracht. So oft nun die horizontale Stärke des Erdmagnetismus diese Lage des Magnetstabes zu ändern sucht, streben die beiden Drähte ihn wieder dahin zurück zu bringen. Die Veränderungen in seiner Stellung und damit die der erdmagnetischen Kraft, nimmt man durch einen darüber befestigten Spiegel wahr, in welchem sich ebenfalls eine Scala spiegelt, die an dem gegenüberstehenden Fernrohr angebracht ist.

Durch *Lamont* wurden die schweren Magnetometer auf zweckmässige Art durch leichtere und kleinere ersetzt; bei ihnen ist der Spiegel senkrecht zur magnetischen Achse über oder unter der Mitte eines Magnetstäbchens befestigt.

§. 392.

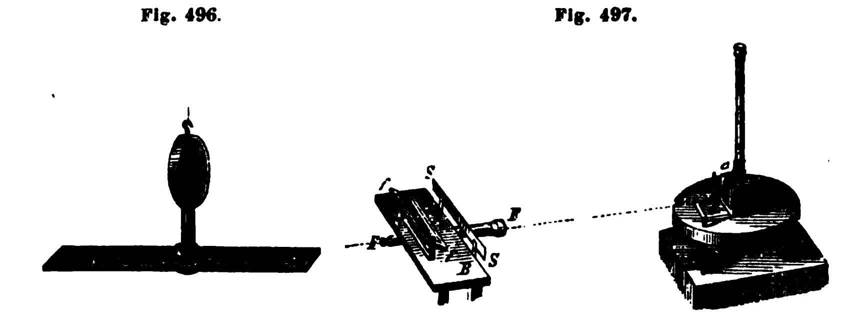
Nach den mit dem Magnetometer angestellten Beobachtungen ist die Magnetnadel nie vollkommen ruhig, sondern beständig in schwingendem Zustande begriffen. Daher kann man auch die Lage des magnetischen Meridians für einen gewissen Zeitpunkt nur dadurch bestimmen, dass man das Mittel aus zwei solchen Stellungen der Nadel nimmt, die zweien genau um eine Schwingungsdauer von einander abstehenden Augenblicken entsprechen. Ist also z. B. die Dauer einer Schwingung des Magnetstabes gleich 20″, und beobachtet man während der Zeit 15^h 30′ 10″, dass das Fadenkreuz den Punkt 868,0 der Scala im Spiegel bedeckte, und während der Zeit 15^h 30′ 30″ den Punkt 867,3, so gibt der Punkt $\frac{868 + 867,3}{2}$ oder 867,65 auf der Scala die Richtung des magnetischen Meridians für die Zeit 15^h 30′ 20″ an. Man kann auch aus mehreren solchen Beobachtungen das Mittel nehmen, wenn sich die Declination während derselben nicht verändert. Auch bei diesen Beobachtungen über die Declination dürfen nur solche Schwingungen benutzt werden, welche schon ihren Gränzwerth (vergl. §. 380, Anm.) erreicht haben. Um diesen Gränzwerth nicht erst abwarten zu müssen, bedient man sich des Beruhigungsstabes.

§. 393.

Die Declination und Inclination, so wie die Stärke des Erdmagnetismus, sind auf der ganzen Erde beständigen Veränderungen unterworfen. Im Jahr 1580 war die Declination in Paris östlich und betrug 11^0 30′, im Jahr 1663 war sie gleich Null und wurde von dieser Zeit an westlich. Im Jahr 1700 betrug sie 8^0 10′, im Jahr 1814 scheint sie ihr Maximum von 22^0 34′ erreicht zu haben, und nimmt seitdem wieder ab. Daselbst hat auch die Inclination seit dem Jahre 1761, wo sie zuerst beobachtet wurde und 75^0 betrug, beständig abgenommen; ist seit 1835 jährlich um circa 3 Minuten kleiner geworden, und beträgt jetzt nur 66^0 26′. In Berlin betrug nach *A. Erman* die Inclination im Jahr 1806: 69^0 53′, 1828: 68^0 3′, 1846: 67^0 43′, während die horizontale Intensität des Erdmagnetismus im Jahr 1805 durch die Zahl 1,6376, 1828 durch 1,7559 und 1846 durch 1,7757 vorgestellt wurde. Die Declination und Inclination ändern sich aber auch mit dem Wechsel der Jahreszeiten, und sind selbst nicht in einer Stunde des Tages so gross

als in der andern. Sie erfolgen gleichzeitig über, unter und an der Oberfläche der Erde, und es bewegt sich in derselben Zeit die Magnetnadel südlich vom magnetischen Aequator mit ihrem Südende nach West, in welcher nördlich davon ihr Nordende nach West geht, wenn die Beobachtungsorte ohngefähr gleiche geographische Länge haben. Diese stündlichen Veränderungen nennt man *Variationen*, und man bediente sich sonst zu ihrer Beobachtung eines Instrumentes, welches die *Variations-Nadel* heisst. Jetzt benutzt man dazu das weit vollkommenere Magnetometer von *Gauss*, das transportable Magnetometer von *Weber* oder den sehr einfachen und bequemen Apparat von *Lamont*. Dieser besteht aus einer magnetischen Uhrfeder, die nur doppelt so gross ist, als in Fig. 496, und in einem senkrecht zur Länge über ihr befestigten

Fig. 496. Fig. 497.



Spiegelchen. Die Uhrfeder wird in dem Gestelle *cd*, Fig. 497, an einem einfachen Coconfaden aufgehängt. Der Fuss dieses Gestelles besteht aus einer runden Messingscheibe, welche in der Mitte einen breiten Schlitz *ab* hat, worin die Nadel Raum zum Schwingen findet. Dieser Schlitz ist oben und unten mit Glas bedeckt. Der Spiegel der Nadel befindet sich darüber in dem Gehäuse *cd*. Von ihm wird das Bild einer gläsernen Scala *SS*, die auf einer Messingplatte befestigt ist, nach dem Fernrohr *FF* zurückgeworfen, welches senkrecht zu dieser Scala an der Platte festgemacht ist. Die Scala wird durch einen geneigten Spiegel *ff* von hinten beleuchtet; und so sieht man durch das Fernrohr das Bild irgend eines Strichs der Scala in gleicher Richtung mit dem Faden, kann also die kleinste Veränderung in der Richtung der Magnetnadel leicht beobachten.

Unter den täglichen Veränderungen der Declination hat man die regelmässigen von den unregelmässigen zu unterscheiden. Die regelmässigen richten sich nach der Tageszeit, und es unterliegt darum keinem Zweifel, dass die erwärmende Kraft der Sonne Ursache derselben ist. Ihr Gang ist in Europa im Allgemeinen folgender: Um 7—8 Uhr Morgens ist die westliche Abweichung am kleinsten und nimmt zu, bis sie Nachmittags um 1—2 Uhr am grössten wird. Darauf geht sie zurück und wird mit Einbruch der Nacht oder am folgenden Morgen wieder am kleinsten. In den Monaten vom October bis einschliesslich März beträgt sie weniger als vom April bis Ende August; im April ist sie am grössten, im December am kleinsten. Nach den Beobachtungen in Göttingen von 1834—37 ist die *Amplitude* der täglichen Variationen, d. h.

der Winkel zwischen dem östlichen und westlichen Stand der Nadel, für ein ganzes Jahr im Mittel 10′ 24″, während sie für die Wintermonate vom October bis März nur 7′ 58″, und vom April bis October 12′ 4″ beträgt. Nach *Lamont* kann man annehmen, dass die Grösse der täglichen Variationen der Tageslänge proportional ist. In *Callao* an der Küste von Peru bewegt sich ausnahmsweise die Nadel Morgens nach Ost, Mittags nach West, nach 3 Uhr Abends wieder nach Ost. Die unregelmässigen Variationen sind sehr häufig und übertreffen oft die regelmässigen Veränderungen um Vieles, indem ihre Amplitude zuweilen mehr als einen Grad beträgt. Sie sind besonders häufig bei der Erscheinung des Nordlichts, und erstrecken sich dann auf Entfernungen, in welchen man das letztere gar nicht mehr wahrnimmt. Der Scheitel des Nordlichts ist gewöhnlich im magnetischen Meridian und die Krone oder der Brennpunkt, gegen welchen die Strahlen des Nordlichts convergiren, liegt ohngefähr in der Verlängerung der Inclinations-Nadel. Erdbeben haben wahrscheinlich keinen dauernden Einfluss auf die Richtung und Variation des magnetischen Meridians. Indem aber *Lamont* am 26. December 1861 an den magnetischen Instrumenten in München eine ungewöhnliche Unruhe in derselben Stunde wahrnahm, in welcher ein Erdbeben in Griechenland grosse Verwüstungen anrichtete, schloss er daraus, dass die Erdbeben nicht nur durch Erschütterung auf die Magnetnadel wirken, sondern auch in der Erde einen elektrischen Strom hervorrufen, der den Magnetismus der Erde modificirt, wie in dem Abschnitt: D. Elektrodynamik gezeigt werden wird. Das Dasein von solchen elektrischen Erdströmen hat *Lamont* durch viele Beobachtungen nachgewiesen.

Um die Ursachen der magnetischen Veränderungen zu erforschen, wurden auf *Alexander von Humboldt's* Veranlassung gleichzeitige Beobachtungen an vielen Orten mit dem Magnetometer angestellt, woraus sich bis jetzt ergeben hat, dass nicht nur grössere Schwankungen der magnetischen Declination, sondern auch ganz kleine, an weit von einander entfernten Orten zu gleicher Zeit stattfinden. Diese Schwankungen in der Richtung des Magnetometers sind zwar hinsichtlich der Grössen-Verhältnisse verschieden, indem sie nach Süden abnehmen, und also von den Polarländern auszugehen scheinen; aber in Hinsicht der Aufeinanderfolge stehen sie in unverkennbarem Zusammenhang, und Beobachtungen, die in gewissen gleichzeitigen Terminen in Upsala, Kopenhagen, Dublin, Greenwich, Breda, Göttingen, Heidelberg, Altona, Catania, Freiberg, Haag, Hannover, Kierisvara, Kremsmünster, Marburg, Messina, Seeberg, Stockholm, Berlin, Breslau, Leipzig, Prag, München, Mailand und Palermo angestellt wurden, zeigen eine bewunderungswürdige Harmonie. Dagegen fand man diese Uebereinstimmung nicht bei gleichzeitigen Beobachtungen an obigen Orten, mit denen von New-York in Nordamerika und Alten unter 70° n. Br. Den grössten Unterschied, welchen *Gauss* zwischen der Declination von einem Mittag und der des darauf folgenden beobachtet hat, also die grösste Schwankung des Magnetometers, betrug 20,1 Min.

Nach *Kreils* Beobachtungen hat auch der Mond auf die Variationen der Magnetnadel Einfluss, und man muss sich vorstellen, dass auf der unserer Erde zugekehrten Hälfte des Mondes derselbe Magnetismus vorherrsche, wie auf der südlichen

Halbkugel der Erde. Die meisten Versuche über die Variation der Inclination hat *Kupffer* angestellt, und sich dabei einer besonders eingerichteten Inclinationsnadel bedient. Sie ist einen halben Meter lang, und ihre Drehungsachse besteht aus einem Halb-Cylinder, der ein dreiseitiges Prisma enthält, dessen Schneide so genau als möglich mit der Achse des Cylinders zusammenfällt. Durch Schrauben und Gegengewichte kann dieses Prisma so befestigt werden, dass der Schwerpunkt der Nadel in die Schneide des Prisma's fällt, welches sich auf zwei Agatplatten dreht. An den Enden der Nadel sind, parallel mit der Länge derselben, Fäden aufgespannt, auf welche Mikroscope mit beweglichem Fadenkreuz gerichtet sind, um die Inclination genau beobachten zu können. Aus den mit diesem Inclinatorium angestellten Beobachtungen folgt, dass in Petersburg die Inclination Morgens um 10 Uhr ihr Maximum und Abends um 10 Uhr ihr Minimum hat. Die Variation ist im Sommer grösser, als im Winter, und die Neigung ändert sich oft plötzlich, wie die Declination. Nach *Humboldt's* und *Kupffer's* Beobachtungen nimmt die Inclination mit der Höhe über der Oberfläche ab, und zwar bei 260 Meter Höhe um ohngefähr 2 Min. Nach *Kreil* hat die Inclination täglich folgenden Gang: Im Sommer zwischen 8 und 9 Uhr Morgens und im Winter zwischen 10 und 11 Uhr ein Maximum. Um Mittag ein Minimum. Um 3 Uhr Nachmittags ein zweites Maximum, spät Abends ein zweites Minimum. Nach Mitternacht ein drittes Maximum und Morgens ein drittes Minimum. Auch über die Variation der Intensität des Erdmagnetismus in der Richtung der Inclination, also der unzerlegten magnetischen Kraft, stellte *Kupffer* mittelst der oben beschriebenen Inclinationsnadel viele Versuche an. Er fand, dass die Stärke des Erdmagnetismus Abends grösser ist, als Morgens, und dass sie vom April bis September wahrscheinlich abnimmt. Bei unregelmässigen Bewegungen, wie bei Nordlichtern, nimmt die Intensität mit der Neigung zu, also im umgekehrten Verhältniss, wie bei den regelmässigen Bewegungen. *Schübler* fand, dass die tägliche Variation der Magnetnadel auch von der Witterung abhängt; so beträgt sie zu Berlin an heitern Tagen 9' 45" und an trüben 8' 1". *Kämtz* machte die Entdeckung, dass die Winde einen merklichen Einfluss auf die Declinationsnadel ausüben, und zwar, dass sie bei *Nord* oder *N.Ost* östlicher zeigt, als bei *West* oder *S.West*-Winden. Daraus folgt, dass die Magnetnadel mit der Zeit eines der bedeutendsten meteorologischen Werkzeuge werden kann.

§. 394.

Die in dem Vorhergehenden erwähnten Wirkungen des Erdmagnetismus lassen vermuthen, dass ihnen allgemeine und höchst wichtige Gesetze zu Grunde liegen. Zur Erforschung derselben sind weit ausgedehnte Beobachtungen auf vielen Punkten der Erde nöthig. Alexander v. Humboldt hat darum schon seit dem Jahre 1829 zur Errichtung von bleibenden magnetischen Observatorien aufgefordert. Der Erfolg davon war, dass in Russland unter Kupffer's Leitung eine Beobachtungsreihe zu Stande kam, welche sich von Helsingfors und von Tiflis bis nach Sitcha und Peking erstreckt. Ebenso wurde dadurch in England die Expedition des Kapitän Ross nach dem südlichen Eismeer, und die Errichtung von festen magnetischen Observatorien auf den entferntesten Punkten der Erde in Canada, Indien, Vandiemensland u. s. w. veranlasst. Man hoffte, es würden diese mit *Gauss*'schen Apparaten ausgerüsteten Expeditionen in wenigen Jahren bedeutende Resultate liefern. Diese Erwartungen sind jedoch in Hinsicht auf die Abhängigkeit der seculären Veränderungen von der Zeit und von der geographischen Lage nicht erfüllt worden. Dagegen ist in Hinsicht auf die Bestimmung der Gesetze, nach welchen die magnetische Kraft auf der Erde vertheilt ist, Vieles erreicht worden und der vollständigste Erfolg zn erwarten. Soll diess auch in Hinsicht auf die *seculären* Veränderungen und die Variationen möglich sein, so müssen, nach dem Urtheil von *Lamont*, der jetzt in dieser Hinsicht das meiste Verdienst hat, die Beobachtungen nach andern Grundsätzen, als früher, und in grösserem Umfang angestellt werden.

Es folgt schon aus den Untersuchungen von *Gauss*, dass die Hauptursachen des Erdmagnetismus nicht in den Raum ausserhalb der Erde verlegt werden können. Dagegen können wohl magnetische Kräfte, welche gegen die Hauptkraft sehr klein sind, einen Einfluss auf den Erdmagnetismus von Aussen üben, und einen Theil der Variationen veranlassen. So folgt aus den jährlichen und täglichen Variationen, dass die Sonnenwärme Veranlassung zu ihrem Entstehen geben müsse. Desshalb darf man aber nicht annehmen, dass die Sonne selbst magnetische Kraft besitze, und folglich eine direkte Wirkung ausübe. Eben so wenig kann man die Variationen durch eine Bewegung magnetischer Achsen im Innern der Erde erklären, weil nach der Erfahrung die Nadeln auf *der* Erdhälfte, welche Nacht hat, auffallend ruhig sind, während sie auf der andern in Bewegung bleiben. Wohl aber geht schon aus mehreren, früher erwähnten Erscheinungen hervor, dass der Erdmagnetismus durch die Wärme geschwächt wird. *Dove* hat die wichtigsten Beziehungen dieser Annahme zu den magnetischen Erscheinungen zusammengestellt, und ihr dadurch einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit gegeben. Indem z. B. die Ostseite Morgens stärker erwärmt wird, als die Westseite, so wird auch die Anziehung von dort vermindert, und der Nordpol geht Vormittags nach West oder die Declination nimmt zu; weil ferner die Südseite während des Tages eine höhere Temperatur annimmt, als die Nordseite, so nimmt auch vom Vormittag an die Inclination ab; aus demselben Grunde aber, aus welchem die Intensität des Erdmagnetismus auf der einen Seite der Inclinationsnadel geschwächt wird, muss sie auf der andern Seite mehr hervortreten, und daher die Intensität des Erdmagnetismus vom Morgen an wachsen. Auch erklärt sich daraus, warum bei Nacht, wo die Wärme-Variationen nur gering sind, die Variationen des Magnetismus so unbedeutend ausfallen; ferner warum sie im Sommer grösser sind, als im Winter, und bei bedecktem Himmel kleiner als bei heiterem, weil im letzten Falle auch die Temperatur-Veränderungen geringer sind; eben so warum die mittlere Inclination am Erdäquator südlich ist, indem die nördliche Halbkugel eine höhere mittlere Temperatur hat.

Aus diesen Ursachen ist es wahrscheinlich, dass der regelmässige Theil der täglichen Variationen dem Einfluss der Sonne zugeschrieben werden darf. Der unregelmässige Theil derselben hat nach Lamont vielleicht in einer indirecten Einwirkung der elektrischen Erdströme seinen Ursprung. Nimmt man mit ihm an, dass der heisse Erdkern eine feste para-magnetische Masse sei, welche von einer sehr unebenen Oberfläche begränzt ist, die also an manchen Punkten der Erdoberfläche näher kommt, so erklärt sich daraus die höhere Temperatur dieser Orte und die Anomalie in den Angaben der Declination, Inclination und Intensität gegen andere benachbarte Orte. Die tägliche Variation der Declination nimmt nach *Lamont* in einer Periode von etwa 10,43 Jahren zu, ab und wieder zu. Diese Periode, so wie die Maxima und Minima der Variationen treffen zum Theil mit der von *Schwabe* entdeckten Periode der Sonnenflecken zusammen.

Unter andern Resultaten von *Lamont's* vielen magnetischen Arbeiten ist das folgende eines der wichtigsten. Wenn man die horizontalen Intensitäten am mag-

netischen Aequator und an einem Ort, wo die Inclination gleich J ist, durch T^0 und T bezeichnet, so ist sehr nahe für alle Theile von Europa

$$\tang J = a (\log T^0 - \log T).$$

C. Erregung des Magnetismus.

§. 395.

Es gibt, wie schon aus dem Frühern hervorgeht, verschiedene Mittel, dem kohlenhaltigen Eisen oder dem Stahle dauernden Magnetismus zu ertheilen. Sie lassen sich sämmtlich in folgenden 6 Punkten zusammenstellen: 1) durch Stoss, Schlag oder Windung, siehe §. 384, Anm.; 2) durch den Einfluss des Erdmagnetismus, siehe §. 385; 3) durch Streichen mit Magneten; 4) durch das Sonnenlicht; 5) durch Abnahme der Wärme; 6) durch Elektrizität.

§. 396.

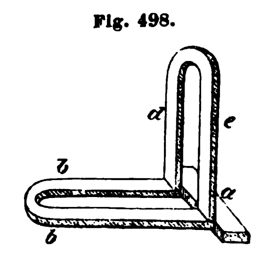
Durch *Streichen* wird der Magnetismus ziemlich kräftig erregt. Man unterscheidet im Allgemeinen den *einfachen Strich,* den *Doppelstrich* und den *Kreisstrich.* Ausserdem gibt es noch andere, mehr oder weniger mit diesen übereinstimmende Methoden.

Der *einfache Strich* besteht darin, dass man den Nordpol eines Magnets auf die Mitte des zu magnetisirenden Stahlstabes setzt und damit bis an's Ende und noch darüber hinausstreicht; dieses wiederholt man etwa 40 bis 50mal auf beiden Seiten; darauf behandelt man die andere Hälfte des Stabes eben so mit dem Südpole. Man muss sich dabei hüten, nicht vom Ende nach der Mitte zurückzustreichen. Das Ende, welches mit dem Nordpole gestrichen wurde, erhält den Südpol, und umgekehrt. Beim *Doppelstriche* setzt man den Magnet, wenn er hufeisenförmig ist, mit beiden Polen auf die Mitte des Stabes, streicht langsam bis an das Ende desselben und wieder zurück bis an's andere Ende, ohne den Magnet aufzuheben. Diess wiederholt man öfter und zieht zuletzt den Magnet an derselben Stelle wieder ab, an welcher man ihn aufgesetzt hat. Bedient man sich beim Doppelstriche zweier geraden Magnetstäbe, so muss man sie in der Mitte des Stabes so aufsetzen, dass ihre untern Enden sich an den freundschaftlichen Polen berühren, während sie nach entgegengesetzten Richtungen unter 15 bis 20 Grad gegen den zu magnetisirenden Stab geneigt sind. In dieser Lage führt man sie bis an's Ende des Stabes und sodann von einem Ende zum andern, und wiederholt dieses Verfahren öfter. Zuletzt setzt man in der Mitte wieder ab. Beim Doppelstriche legt man auch mit Vortheil den zu magnetisirenden Stab mit seinen Enden auf zwei weiche Eisenstäbe, oder auf die entgegengesetzten Enden zweier starken Magnete, indem dann gleichsam ein Theil der erregten magnetischen Kraft durch diese gebunden wird und ein ferneres Einwirken des Magnetes gestattet. Beim *Kreisstriche* legt man vier Stahlstangen in ein rechtwinklichtes Viereck zusammen, setzt zwei Magnete, wie beim Doppelstriche, mit ungleichnamigen Polen auf eine der Stangen und führt sie mehrmals in derselben Richtung rings herum. Zwei dieser Stäbe können auch Magnete sein und müssen dann in entgegengesetzter Lage der Pole zwei

gegenüber liegende Seiten des Vierecks bilden. Wenn man mehrere Magnetstäbe so in einem kreisrunden Ringe befestigt, dass sie, wie die Radien, nach der Mitte desselben zusammenlaufen, und die ungleichnamigen Pole einander gegenüber stehen, so wird ein durch die Mitte gezogener Stahlstab *transversal-magnetisch*, das heisst, er erhält so viele Reihen von diametral-gegenüberstehenden Polen, als Magnetstäbe angewendet wurden.

Hoffer hat zwei Methoden angegeben. Man verbindet die Enden des hufeisenförmigen Stabes *bb*, Fig. 498, durch ein vorgelegtes weiches Eisen *a* (den Anker), setzt den Magnet *de*, mit welchem gestrichen werden soll, so nahe als möglich an den Anker in senkrechter Stellung darauf und führt ihn in gleichförmigem Zuge bis über die Wölbung bei *bb* so hinaus, dass er immer seiner ursprünglichen Stellung parallel bleibt. Durch 4- bis 5maliges Wiederholen dieses Streichens hat der Stahl schon die unter dem Einflusse des Streichmagnets mögliche Stärke erreicht. Auch hier muss man sich hüten, den Stab nicht in entgegengesetzter Richtung zu streichen, weil er dadurch wieder geschwächt würde. Hat der Streichmagnet nicht dieselbe Breite und denselben Abstand seiner Schenkel, wie der gestrichene, so muss man ihn mit eisernen Schuhen versehen, welche diesen Abstand und die rechte Breite haben. Die zweite, weniger zweckmässige Methode besteht darin, dass man den Streichmagnet an der Wölbung aufsetzt und gegen die Enden des Stabes führt. Bei der ersten Methode werden die Pole gleichnamig mit den berührenden Polen des Streichmagnets, bei der letzten entgegengesetzt. An der Wölbung selbst entstehen entgegengesetzte Pole. Durch Anwendung der zweiten Methode kann man den durch die erste erregten Magnetismus wieder aufheben und durch längeres Streichen die Pole umkehren. *Hoffer* hat aus feinem Uhrstahl von dichtem und gleichartigem Gefüge, der als Kennzeichen seines Härtegrades beim Anlassen eine strohgelbe Farbe erhielt, Magnete verfertigt, die nur 22 Loth schwer waren und 10 Pfund Tragkraft besassen. Die Breite der parallelen Schenkel war ein Zoll, ihre Dicke 0,13 Zoll, ihre Länge 7,25 Zoll, und ihr Abstand nur 0,16 Zoll. Die erste Methode *Hoffer's* kann auch auf Stäbe angewendet werden, indem man zwei solche Stäbe in paralleler Lage an den Enden durch weiche Eisenstücke verbindet.

Fig. 498.



Die Methode von *Fr. Mohr* ist der zweiten Methode *Hoffer's* ganz ähnlich. Nach ihr streicht man auch von der Biegung des Hufeisens nach dem Anker; nur legt man hinter das streichende Hufeisen einen zweiten Anker, ehe man es von dem gestrichenen Hufeisen entfernt. Es gibt aber ein eigenthümliches, von *Fr. Mohr* entdecktes Verfahren, durch welches man finden kann, wann der zu magnetisirende Stab gesättigt ist. Bei dem ersten Aufsetzen des magnetisirenden Hufeisens auf das unmagnetische wird der Anker des letztern nicht angezogen, als bis es einmal gestrichen ist. Setzt man nun das streichende Hufeisen zum zweitenmal auf, so haftet der Anker nur schwach, nnd wenn man beim Streichen bis zu einer gewissen Entfernung von den Enden gekommen ist, so wird der Anker des gestrichenen Hufeisens gar nicht mehr angezogen. Streicht man aber über diesen Abstand hinaus, so stellt sich die Anziehungskraft wieder ein. Dieser Abstand rückt bei jedem folgenden Strich den Enden immer näher, bis er zuletzt stationär wird, und der Magnet auch an Kraft nicht mehr zunimmt.

Dove hat die verschiedenen Magnetisirungs-Methoden geprüft und gefunden, dass der Kreisstrich, wenn er auf beiden Seiten eines Magnetstabes angewandt wird, am erfolgreichsten sei. Noch bessere Methoden werden unten beim Elektromagnetismus vorkommen.

Eine derselben, welche *Logeman* in Haarlem anwendet, wird später gelehrt werden. Damit erzeugt er aus dem von ihm angewandten Stahl Magnete von 1 Pfund Gewicht, welche 31 Pfund Tragkraft haben.

Nach den zahlreichen Versuchen und Messungen von *P. W. Häcker* lässt sich das Tragvermögen von hufeisenförmigen Magnetstäben, welche gesättigt sind und durch wiederholtes Abreissen nicht mehr geschwächt werden, wenn man das Ge-

wicht des Magnets in Kilogramm mit p, die Tragkraft mit K und einen mit der Natur des angewandten Stahls sich ändernden Coëfficienten mit a bezeichnet, durch die Formel

$$K = a \sqrt[3]{p^2}$$

ausdrücken. Darnach trägt also ein 1000 Gr. schwerer Stab nur 25mal so viel, als einer, der 8 Gr. schwer, oder 125mal leichter ist und 125 von diesen leichtern Stäben tragen zusammen 5mal so viel, als einer, der eben so schwer ist als alle zusammengenommen. Wenn man aber die einzelnen 125 Stäbe auf einander legt, so tragen sie wenig mehr als der Stab von 1000 Gr. Es ist nach *Häcker* gleichgiltig, ob der Querschnitt der Stäbe quadratisch, rund oder breit ist. Auch kommt es auf den Abstand der Schenkel nicht viel an: nur ist nothwendig, dass der Magnet senkrecht aufgehängt ist und die Last genau in der Mitte hängt. Bei *Häcker's* besten Stäben ist in Kilogrammen $K = 10{,}33 \sqrt[3]{p^2}$, bei denen von *Logeman* ist $K = 23{,}03 \sqrt[3]{p^2}$. Ein Stab von 0,008 Kil. müsste also nach ersterem tragen 0,4132 Kil.

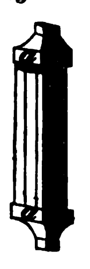
Dass die Erschütterung der Massentheilchen die Vertheilung der magnetischen Flüssigkeiten befördert, zeigt folgender Versuch: Ein Eisenstäbchen, welches zwischen den freundschaftlichen Polen zweier Magnete liegend, keinen Magnetismus zeigt, erlangt diesen augenblicklich, wenn man es mit einem harten Körper der Länge nach reibt.

§. 397.

Die Stärke des Magnetismus, welche man einem Stabe durch Streichen mittheilen kann, hängt nach dem Obigen von der Stärke des Streichmagnets und von der Grösse des Stabes, aber auch von der Beschaffenheit des Stahles ab. Letzterer muss feinkörnig und gleichförmig hart sein. Zu grosse Härte schadet der Empfänglichkeit für den Magnetismus und zu grosse Weichheit der Dauer. Durch das Abreissen des Ankers wird der Magnet bis zu einem gewissen Grade geschwächt und noch mehr durch das Umkehren der Pole. Kleinere Stäbe erhalten in der Regel eine verhältnissmässig stärkere Kraft, als grosse, und hufeisenförmige mehr, als gerade von gleichem Gewicht. Doch kann man aus einer grössern Zahl schwacher Magnetstäbe einen sehr wirksamen Magnet bilden, wenn man sie gegenseitig verstärkt und mit einer zweckmässigen *Armatur* versieht.

Hat man z. B. 12 Stäbe durch den Doppelstrich oder nur durch Hämmern in vertikaler Lage magnetisch gemacht, so kann man sie gegenseitig auf folgende Art bis zur Sättigung, d. h. bis sie keinen stärkern Magnetismus mehr annehmen können, verstärken: Man nimmt zwei davon, legt sie parallel mit entgegengesetzten Polen neben einander und verbindet sie mit kurzen Stücken weichen Eisens zu einem rechtwinklichten Vierecke. Die übrigen 10 Stäbe vertheilt man in zwei Bündel, setzt diese auf die Mitte eines der zwei Stäbe und streicht mit entgegengesetzten Polen, wie beim Doppelstriche. Eben so verstärkt man den Magnetismus des andern Stabes. Hierauf nimmt man aus jedem Bündel einen Stab heraus, ersetzt ihn durch einen der beiden verstärkten Stäbe und wendet auf die herausgenommenen Stäbe nun dasselbe Verfahren an. Diese Operation setzt man so lange fort, bis alle Stäbe den höchsten Grad der Stärke erlangt haben. Die Verbindung mehrerer Stäbe zu einem einzigen Magnet nennt man ein *magnetisches Magazin*. Sonst hielt man es für zweckmässig, die Enden der Stäbe durch kleine Parallelepipeda von sehr weichem Eisen, die etwas hervorragen, von einander zu trennen, oder, nach *Biot*, diese Enden in einem weichen Eisen a auf die in Fig. 499 angegebene Art zu befestigen. Dieses Eisen heisst die *Armatur*. Bei natürlichen Magneten besteht sie aus einem mit Füssen versehenen Eisenbleche, welches die polirten Seiten des Magnets so genau als möglich berührt; bei Magnetstäben ist sie überflüssig. Man kann die geraden oder hufeisenförmigen Stäbe von gleicher Länge geradezu auf einander

Fig. 499.



legen oder man nimmt eine ungerade Anzahl von Stäben, macht den mittelsten am stärksten und längsten, und lässt die folgenden auf beiden Seiten treppenförmig, aber symmetrisch abnehmen. Der Zweck der Armatur besteht in einer stärkern Vertheilung des Magnetismus. Dass Magnete durch allmälige Vermehrung des Gewichtes, welches sie zu tragen haben, verstärkt werden können, und durch plötzliches Abreissen desselben an Kraft verlieren, ist bekannt. Nach *Stöhrer* ist es vortheilhaft, wenn die Stahllamellen eines Hufeisenmagnets sich nur an den Polen berühren und nicht der ganzen Länge nach.

§. 398.

Bei der magnetischen Vertheilung in einem geraden Stabe von Eisen finden folgende Erscheinungen statt: Wenn man das Ende *a*, Figur 500, eines unmagnetischen Stabes *a b* mit dem Nordpole eines Magnets berührt, so erhält dieses einen Südpol, und *b* einen Nordpol. Rückt man mit dem Magnet nun gegen *b* fort, so wächst die magnetische Kraft von *b*, bis der Magnet einen gewissen Punkt *c* erreicht hat, worauf sie wieder abnimmt. Dieser Punkt heisst der *culminirende Punkt.* Führt man den Magnet noch weiter fort, so wird in einem gewissen Punkte, der um die Mitte liegt, der Magnetismus von *b* gleich Null. Dieser Punkt heisst nach *Brugmanns* der *Indifferenz-Punkt.* Dasselbe, was hinsichtlich dieser Punkte für *b* gilt, gilt umgekehrt auch für *a*. Es gibt also zwei culminirende Punkte *c* und *d* und einen Indifferenz-Punkt.

Fig. 500.

a
c
d
b

§. 399.

Magnetisirung durch das Licht. Morechini will gefunden haben, dass eine Stahlnadel magnetisch wird, wenn man sie in dem violetten, blauen oder grünen Theile des Sonnenspectrums aufstellt, während sie in den andern Theilen desselben unmagnetisch bleibt. Diese Entdeckung so wie die nachstehende der Miss *Sommerville* bedarf aber noch der Bestätigung. Nach ihr entsteht, wenn bei diesem Versuche die Hälfte der Nadel durch ein Papier bedeckt ist, der Nordpol an dem freien Theile, und in vollem Sonnenlichte, selbst unter Wasser, erhält jede Stahlnadel da einen Nordpol, wo sie ausnahmsweise polirt ist. Sind mehrere Stellen polirt, so erhält sie bei anhaltend schönem Sonnenscheine mehrere Pole. In der neueren Zeit hat *Faraday* die höchst wichtige Entdeckung gemacht, dass der Magnetismus auch auf das Licht wirkt, indem er die Schwingungsebene eines polarisirten Lichtstrahls zu drehen vermag. Hierüber können die nöthigen Erläuterungen jedoch erst unter dem Kapitel von Elektromagnetismus vorkommen.

§. 400.

Ein natürlicher wie ein künstlicher Magnet verlieren ihren Magnetismus in der Weissglühhitze vollständig. Durch Erhitzen wird ihre Kraft dauernd schwächer, so dass sie bei verschiedenen Temperaturen nachher geringern Magnetismus zeigten, als vorher bei denselben Temperaturen. Legt man einen Magnetstab aber abwechselnd 10- bis 15mal in Schnee und siedendes Wasser, so wird nach *Dufour* und nach *Wiedemann* die magnetische Kraft, die bei verschiedenen Temperaturen im-

mer noch wechselt, doch für jede bestimmte Temperatur zwischen 0 und 100° constant.

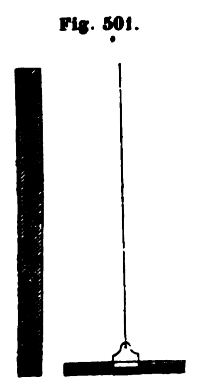
Durch plötzliche *Abnahme der Wärme* dagegen und den Einfluss des Erdmagnetismus wird ein Eisenstab magnetisch. Taucht man ihn, nachdem er rothglühend gemacht ist, in lothrechter Stellung in's Wasser, so erhält das untere Ende einen Nordpol, das obere einen Südpol. Dagegen nimmt mit der Zunahme der Wärme von paramagnetischen Körpern die Einwirkung des Magnetismus auf dieselben ab. So verhält sich ein weissglühendes Eisen ganz indifferent gegen einen Magnet, und ein Stahlmagnet verliert schon im siedenden Mandelöl seine magnetische Wirkung. Nickel hört bei 350° Wärme, Magnesia bei 20 bis 25° auf, paramagnetisch zu sein, Kobalt noch nicht bei der höchsten Rothglühhitze. Vielleicht würden noch viele Körper paramagnetisch, wenn man ihre Atome einander genug nähern könnte. Die *Magnetisirung durch Elektrizität* kommt im nächsten Abschnitte vor.

D. Gesetze der magnetischen Anziehung und Abstossung.

§. 401.

Um das Gesetz über die anziehende und abstossende Kraft eines Magnets in verschiedenen Entfernungen zu finden, wendete *Coulomb* zwei Methoden an. Die erste bestand in der Beobachtung der Schwingungen einer freihängenden Magnetnadel, wenn sie unter dem Einflusse eines Magnets stand; die zweite in der Anwendung der Seite 68 beschriebenen Drehwage. Durch beide fand er, dass *die magnetischen Kräfte im Verhältnisse des Quadrates der Entfernung abnehmen.* Auch *Hansteen* hat das Gesetz über die Abnahme der magnetischen Kraft mit dem Quadrate der Entfernung bestätigt gefunden, aber am entschiedensten hat es in neuerer Zeit *Gauss* nachgewiesen.

Fig. 501.



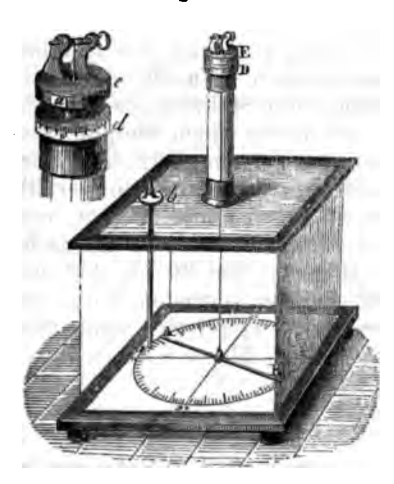
Coulomb hing eine 15 Cent. lange Magnetnadel an einen einfachen Coconfaden auf und fand, dass die Anzahl der Schwingungen, welche sie in einer Minute vermöge der Kraft des Erdmagnetismus allein machte, gleich 15 sei. Darauf liess er sie vor dem ungleichnamigen Pole eines vertikal stehenden, 25 Zoll langen Magnetstabes in der Ebene des magnetischen Meridians, wie in Fig. 501 in einer Entfernung von 4 Zoll schwingen und erhielt 41 Schwingungen; bei 8 Zoll Entfernung erhielt er nur 24 Schwingungen in der Minute. Da sich nun die Quadratzahlen der Schwingungen wie die anziehenden Kräfte verhalten, so ist, wenn man die Kraft des Erdmagnetismus $= P$, die des Magnets in der Entfernung von 4 Zoll $= p$, und in der Entfernung von 8 Zoll $= p^1$ setzt,

$$P : P + p = 15^2 : 41^2 \text{ und } P : P + p^1 = 15^2 : 24^2; \text{ also}$$
$$p : p^1 = 41^2 - 15^2 : 24^2 - 15^2 \text{ oder nahezu } p : p^1 = 4 : 1.$$

Bei dieser Methode ist angenommen, dass nur die einander am nächsten stehenden Magnetpole auf einander wirken, was nicht streng richtig ist.

Die zweite Methode bestand darin, dass er in der Drehwage (Fig. 502) an dem feinen Draht eine Magnetnadel AB aufhing, und nachdem diese im magnetischen Meridian zur Ruhe gekommen war, ohne dass der Draht eine Windung erlitt (welches man dadurch findet, dass man zuerst eine unmagnetische Nadel von gleichem Gewicht daran befestigt und sich ihre Stellung merkt), zur Seite von A einen Magnet-

Fig. 502.



stab *ab* in vertikaler Stellung so anbrachte, dass dieser dem A den feindlichen Pol zuwendete. Dadurch wurde die Nadel z. B. um 24° zurückgestossen. Hierauf gab er dem Drahte eine Windung von drei Umfängen des Kreises in *entgegengesetzter* Richtung, also von 1080°, und nun betrug die Ablenkung der Nadel nur noch 17°. Vorher hatte er gefunden, dass die Nadel bei einer Windung des Drahtes von 35°, 2.35°, 3.35° . . . durch die Kraft des Erdmagnetismus bis auf 1°, 2°, 3° . . . Abweichung vom Meridian zurückgeführt wurde. Die Abweichung von 24° entsprach also einer Windung von 35 . 24° + 24° oder von 864°, und die Abweichung von 17° einer Windung von 17 . 35 + 1080 + 17 oder von 1692°. Da aber der Widerstand der Windungen den abstossenden Kräften proportional ist, so verhalten sich also diese Kräfte wie 864 : 1692 oder ohngefähr wie 1 zu 2. Die Quadrate der Entfernungen zwischen den Polen aber verhalten sich wie 17^2 zu 24^2 oder auch wie 1 zu 2.

§. 402.

Wenn man an verschiedenen Punkten eines fusslangen Magnetes eiserne Gewichte aufhängt, so findet man, dass seine Tragkraft in einiger Entfernung von den Enden am grössten ist, von da gegen die Mitte hin schnell abnimmt und in gleichen Entfernungen von derselben gleiche Grösse hat. Diess ist eine Folge der in §. 384 erklärten Wirkung der magnetischen Massentheilchen. Das Gesetz für die magnetischen Kräfte an den verschiedenen Stellen eines cylindrischen Magnetstabes hat *Coulomb* auf die im vorigen §. angegebene Art (vergl. Fig. 501) gefunden, indem er die kleine Magnetnadel erst frei schwingen liess und sie dann in der Ebene des magnetischen Meridians, dem Südpol des Stabes mit ihrem Nordpol näherte. Die Schwingungen waren um so langsamer, je näher die Nadel dem Mittelpunkte des Stabes kam, und wurden in diesem der Zahl nach denen gleich, welche die Nadel unter dem Einflusse des Erdmagnetismus allein machte. Er fand, dass sich bei gesättigten Stäben von mehr als 7 Zoll Länge jenes Gesetz immer durch eine Curve darstellen lässt, deren Abscissen die Entfernungen von dem Ende der Nadel, und deren Ordinaten die magnetische Kraft in jedem Punkte vorstellen. Die Entfernung des Mittelpunktes der Kräfte oder des eigentlichen Pols von dem Ende scheint sich nach diesen Untersuchungen im gleichen Verhältniss mit dem Durchmesser der cylindrischen Stäbe zu ändern.

Biot hat gefunden, dass obige Curve durch die Gleichung

$$y = A\,(p^x - p^{2l-x})$$

ausgedrückt werden kann; wo $2l$ die Länge des Magnets, x den Abstand vom südlichen Ende bis zu dem Punkte bedeutet, dessen magnetische Kraft $= y$ ist, und A und p zwei Grössen sind, welche durch zwei Beobachtungen bestimmt werden können. *Becquerel* hat dieses Gesetz auch bei den feinsten magnetischen Drähten bestätigt gefunden und *Lamont* hat gleichfalls gezeigt, dass es richtig ist, wenn man die Endpunkte nicht berücksichtigt. Für diese erhält man nach der *Biot*'schen Formel die Intensität fast um $1/_6$ zu klein. Mittelst eines weichen und kurzen Stückes Eisendraht, welches sich in einer hohlen Glaskugel befindet, kann man den

Ort der Pole sehr genau ausmitteln, indem sich nur an diesen das Drahtstück in der Kugel senkrecht stellt.

§. 403.

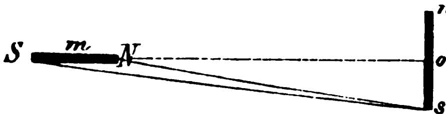
Das im §. 401 erwähnte Gesetz von der Anziehung der magnetischen Theilchen im umgekehrten Verhältniss des Quadrates der Entfernung gilt ganz allgemein. Man darf aber daraus nicht schliessen, dass desshalb die Wirkung zweier Magnetstäbe auf einander auch mit dem Quadrat der Entfernung abnehme; denn diese ist aus der anziehenden Wirkung aller ungleichnamigen Theile und der abstossenden aller gleichnamigen Theilchen zusammengesetzt, und daher von der Lage und Grösse, so wie von dem Magnetismus der Stäbe abhängig. Wenn die Entfernung im Verhältniss zur Länge der Magnetstäbe sehr gross ist, so nimmt nach den Untersuchungen von *Gauss die Anziehung mit dem Cubus der Entfernung ab.*

Ausserdem ist die Wirkung eines Magnets auf einen andern dem Produkt aus der magnetischen Kraft des einen in die des andern proportional. Ist daher die Wirkung eines Magnets von der Kraft 1 auf einen andern von der Kraft 1 in der Entfernung 1 gleich Eins, so ist die Wirkung eines Magnets von der Kraft M auf einen andern von der Kraft m in der Entfernung R dem Ausdruck $\frac{Mm}{R^3}$ proportional. Die Wirkung eines Magnets M auf ein paramagnetisches weiches Eisen ist aus dem nämlichen Grunde dem Quadrat von M proportional, weil der Magnetismus des Eisenstabs m um so stärker hervorgerufen wird, je stärker die durch M bewirkte Vertheilung des Magnetismus ist.

Das obige Gesetz lässt sich für nachstehenden *besondern* Fall, der eine häufige Anwendung findet, auf folgende Art erklären:

Bezeichnen in Fig. 503 die Buchstaben n und s die Pole eines beweglichen Magnetstabes, und ebenso N und S die gleichnamigen Pole eines andern, der fest liegt; hat ferner der Magnetstab SN die Länge $2a$, und ist die Entfernung mo oder R von der Mitte des einen zu der des andern im Verhältniss zu SN oder sn sehr gross, so kann man $No = Ns$ und $Ss = So$ setzen. Es ist alsdann $Ns = R - a$ und $Ss = R + a$. Denkt man sich nun die gegenseitige Anziehung der Pole N und s in der Entfernung 1 sei gleich q, so ist sie in der Entfernung Ns gleich $\frac{q}{(R-a)^2}$. Die gegenseitige Abstossung der Pole S und s ist in der Entfernung 1 ebenfalls gleich q; folglich ist sie in der Entfernung Ss gleich $\frac{q}{(R+a)^2}$. Die Anziehung des beweglichen Poles s ist also grösser, als die Abstossung desselben um die Grösse

Fig. 503.



$$\frac{q}{(R-a)^2} - \frac{q}{(R+a)^2} = \frac{4aRq}{(R^2-a^2)^2}.$$

Dieser Ausdruck wird gleich $\frac{4aRq}{R^4}$ oder gleich $\frac{4aq}{R^3}$ unter der Voraussetzung, dass a gegen R sehr klein ist. Bezeichnet man darum die Kraft beider Stäbe, welche eine Drehung des Stabs ns zu bewirken sucht, in der Entfernung 1 durch q und in der Entfernung R durch F, so ist

— $4aa$

Die Kraft q hängt von dem Magnetismus der Stäbe ab. Nimmt man an, die drehende Kraft zweier Stäbe, deren magnetische Kraft gleich 1 ist, sei auch gleich 1, so ist sie zwischen einem Magnetstab von der Kraft m und einem von der Kraft 1 gleich m. Zwischen obigen zwei Magnetstäben von der Kraft M und m in der Entfernung 1 ist also die Kraft $q = Mm$. Die Kräfte m und M können zwei Magnetstäbe, unbeschadet der Länge $2a$, haben. Es wird also auch durch die Länge des einen oder des andern Magnetstabs die drehende Kraft F nicht verändert, wenn nur ihre magnetischen Kräfte m und M sich nicht ändern, und ihre Entfernungen im Verhältnisse zu ihrer Länge gross genug sind. Daher ist für diese Stäbe, wenn auf die Länge $2a$ keine Rücksicht genommen wird,

$$F = \frac{2\,Mm}{R^3}$$

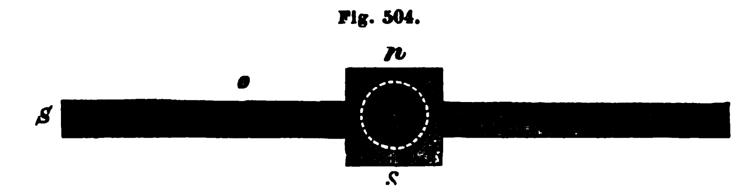
und für verschiedene Entfernungen R und $R_{,}$ wird darum

$$F : F_{,} = \frac{2\,Mm}{R^3} : \frac{2\,Mm}{R_{,}^3}$$

$$\text{oder } F : F_{,} = R_{,}^3 : R^3.$$

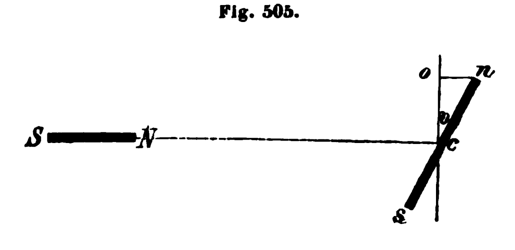
Dieses Gesetz kann man sehr genau durch einen Versuch nachweisen, wenn man eine Boussole ns, wie in Fig. 504, auf einem horizontalen Maassstab, der senk-

Fig. 504.



recht zum magnetischen Meridian ist, aufstellt. Legt man alsdann ein Magnetstäbchen NS parallel mit dem Maassstab auf diesen, so wird die Magnetnadel ns aus dem oben angeführten Grunde abgelenkt. Bezeichnet v in der Figur 505 den Winkel, um den sie abgelenkt wird, so ist cn die Richtung der Resultirenden aus der horizontal wirkenden Kraft des Erdmagnetismus T und der drehenden Wirkung der beiden Stäbchen auf einander, die wir oben durch F bezeichnet haben. Zerlegt man cn nach den Richtungen dieser Kräfte F und T oder nach no und co, so ist offenbar

Fig. 505.



$$\frac{F}{T} = \frac{no}{co} = \text{tg. } v.$$

Es ist also für diese Entfernung, die wir durch R bezeichnen wollen,

$$F = T \text{ tg } v;$$

für eine andere Entfernung $R_{,,}$ sei der Ablenkunswinkel $= v_{,,}$ so ist auch $F_{,} = T \text{tg} v_{,,}$ folglich

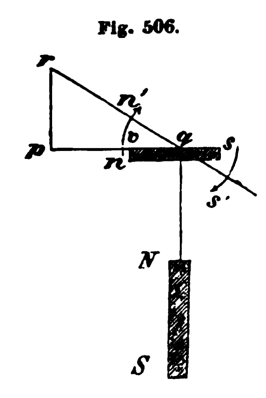
$$F : F_{,} = \text{tg } v : \text{tg } v_{,}.$$

Die drehenden Kräfte F und $F_{,}$ oder $\frac{2\,Mm}{R^3}$ und $\frac{2\,Mm}{R_{,}^3}$ verhalten sich also wie die Tangenten der Ablenkungswinkel. Also werden sich auch die Tangenten der Ablenkungswinkel umgekehrt, wie die Kubikzahlen der Entfernungen verhalten, wenn man den Magnetstab NS in verschiedenen Abständen von der Boussole ns auf den Maasstab setzt und den Ablenkungswinkel jedesmal beobachtet. Bei kleinen Ablenkungen sind die Winkel den Tangenten selbst proportional, und die Uebereinstimmung der Theorie mit der Erfahrung ist also leichter nachzuweisen.

§. 404.

In dem vorigen §. ist gezeigt worden, dass ein festliegender Magnetstab NS, Fig. 506, einem andern beweglichen Magnetstäbchen ns, welches parallel zum magnetischen Meridian liegt, eine Drehung in der Richtung der Pfeile zu ertheilen vermag, und dass die Grösse der Kraft F, mit welcher diese Drehung erfolgt, mit dem Cubus der Entfernung beider Stäbchen abnimmt und mit der Stärke des ihnen eigenthümlichen Magnetismus wächst.

Fig. 506.



Ein bestimmtes Maass für diesen Magnetismus ist aber bis jetzt hier noch nicht angegeben worden. *Gauss* und *Weber* haben aber gerade dieses Drehungsmoment benutzt, um auf folgende Art eine bestimmte Grösse als *Einheit der magnetischen Kraft* festzusetzen: Für den Fall, dass R oder der Abstand der beiden Stäbchen 1 Millimeter beträgt, und dass M und m der Einheit der magnetischen Kraft gleich sind, sei das Drehungsmoment F gleich der Kraft, mit welcher die Masse von 2 Milligramm einen horizontalen Wagbalken ns von 2 Millimeter Länge, um seine Mitte q dreht, indem sie auf das Ende s wirkt. Weil aber der Druck, welchen diese Masse auf den verschiedenen Punkten der Erdoberfläche ausübt (vergl. §. 17 und 86), verschieden ist, so nimmt *Gauss* dabei die Anziehungskraft nicht gleich der Kraft, die dem Körper in einer Secunde eine Geschwindigkeit von 9,81 M. ertheilt, sondern nur so gross an, als ertheilte sie dem Körper in einer Secunde eine Geschwindigkeit von 1 Millimeter.

Das Produkt des Drehungsmoments F in den Cubus der Entfernung oder FR^3 ist für dieselben Magnetstäbe von den Kräften M und m stets dasselbe; oder es ist bei obiger Lage und Stellung und verhältnissmässiger Grösse von R stets

$$FR^3 = 2Mm.$$

Man nennt dieses Produkt das reducirte Drehungsmoment. Wenn also oben bei Bestimmung der Einheit von 1 Millimeter Abstand die Rede war, so geschah dieses nur, um das Drehungsmoment auf die Einheit der Entfernung zu reduciren. Der Abstand der beiden Stäbe muss stets sehr gross im Verhältniss zu ihrer Länge gedacht werden. Von zwei Magnetstäben, welche die magnetischen Kräfte 8000 und 4000 haben, und die sich in der oben angegebenen Lage, frei von dem Einfluss irgend einer andern Kraft, in einem gegenseitigen Abstand von 200 Millimeter befinden, ist also das Drehungsmoment

$$F = \frac{2 \cdot 8000 \cdot 4000}{200^3} = 8,$$

das heisst; das eine Stäbchen dreht sich um seine Mitte mit der nämlichen Kraft, wie ein Wagbalken von 2 Millimeter Länge, an dessen einem Ende eine Masse von 8 Millig. aufgehängt ist, die unter dem Einfluss einer Schwerkraft steht, welche nur der 9810-Theil von der mittleren Schwerkraft der Erde ist.

Um nach diesem Maass die absolute Grösse der magnetischen Kraft der Erde oder eines Magnetstabes zu finden, hat *Gauss* eine höchst sinnreiche Methode ausgedacht, die unten für den Fall, dass eine einzige Beobachtung als genügend angesehen wird, erläutert werden soll. Die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus ein horizontales Stäbchen, von der Einheit der magnetischen Stärke, in den magnetischen Meridian zurückzudrehen sucht, wenn es senkrecht zu diesem aufgestellt ist, heisst die horizontale Intensität des Erdmagnetismus. Als Einheit dieser Kraft ist auch hier das Drehungsmoment von 1 Milligramm, welches an dem Ende eines Hebelarmes von 1 Millimeter oder eines Wagbalkens von 2 Millimeter Länge unter dem Einfluss einer Schwerkraft wirkt, die einem fallenden Körper in einer Sekunde nur 1 Millimeter Geschwindigkeit zu ertheilen vermag, zu Grunde gelegt. Die horizontale Intensität des Erdmagnetismus zu Göttingen ist 1,78, heisst also: 1,78 Milligramm unter dem Einfluss einer Schwere, welche in einer Sekunde einem fallenden Körper nur eine Geschwindigkeit von einem Millimeter ertheilt, würden am Ende eines Hebels von 1 Millimeter Länge dieselbe Drehkraft ausüben, als die Erde auf ein horizontales Magnetstäbchen von der magnetischen Kraft 1, wenn dieses senkrecht zum magnetischen Meridian aufgestellt ist.

Die drehende Wirkung des Erdmagnetismus auf ein Magnetstäbchen von der Kraft 1 und das magnetische Moment der ganzen Erde sind wohl von einander zu unterscheiden, weil die Wirkung eine Resultirende aus den nahen und fernen magnetischen Theilchen der Erde ist. Würden diese in *einem* Punkt vereinigt, so wäre nach den Untersuchungen von *Gauss* in 1 Millimeter Entfernung ihr Drehungsmoment 3,3092 R^3, wo R den Halbmesser der Erde in Millimetern vorstellt, während das eines einpfündigen Magnetstabes 8500-trillionenmal kleiner ist.

Man wendet zu obigen Bestimmungen am sichersten das im §. 391 beschriebene Magnetometer an. Die Rechnung wird aber durch die Elastizität des Fadens und die unregelmässige Gestalt des Spiegelhalters und des Schiffchens sehr erschwert. *W. Weber* hat desshalb einen einfacheren und auf Reisen sehr bequemen Apparat angegeben, der ziemlich genaue Bestimmungen des Erdmagnetismus möglich macht. Er besteht 1) aus einer kleinen Boussole, deren Nadel nur 60 Millimeter lang ist, und deren Gradbogen in ganze Grade getheilt ist; 2) aus einem kleinen prismatischen Magnetstab, und 3) aus einem 1 Meter langen Maassstabe, der so breit ist, dass man die Boussole mitten darauf stellen kann. Das prismatische Stäbchen, dem man eine Länge von 100 Millimetern gibt, muss genau parallelepipedisch gearbeitet sein, und kann in seiner Mitte ein kleines Loch haben, um eine Nähnadel darin befestigen zu können. Durch das Oehr dieser Nähnadel wird dann ein Coconfaden gezogen, um das Stäbchen aufzuhängen. Die Beobachtungen, die man mit diesem Apparate macht, sind sehr einfach. Der Massstab wird zuerst horizontal und senkrecht zum magnetischen Meridian hingelegt, und die Boussole darauf gestellt, wie in Fig 504, Seite 510. Sodann wird der kleine Magnetstab parallel mit dem Maassstab auf letztern gelegt, und die Ablenkung der Nadel in der Boussole, so wie die Entfernung der Mitte des Magnetstabes von ihr notirt. Diess geschieht wiederholt in verschiedenen Entfernungen und mit Umkehrung der Pole des Magnetstäbchens. Darauf wird das letztere am Conconfaden aufgehangen und die mittlere Schwingungsdauer desselben aus einer grössern Anzahl von Beobachtungen genommen. Die Zahl der Schwingungen muss aber durch die im §. 390, Anm., angegebene Art stets auf eine bestimmte Temperatur, z. B. 0°, reducirt werden. Die gesammten Beobachtungen der ersten und zweiten Art werden alsdann zur Bestimmung des wahrscheinlichen Werthes der magnetischen Erdkraft benutzt.

Da sich dieser Gegenstand nicht in seinem ganzen Umfange hier darstellen

lässt, so genüge es, die Theorie dieser Messungen, die auch im Allgemeinen für das grosse Magnetometer gilt, in so weit kennen zu lernen, als reichte eine einzige Beobachtung der Ablenkung und das Mittel *einer* Schwingungsdauer hin. Man denke sich ein magnetisches Stäbchen, welches die magnetische Kraft $= 1$ besitzt; die *horizontale* magnetische Kraft der Erde sei T-mal so gross und die eines andern Stäbchens NS sei M-mal so gross, so wird das Stäbchen, wenn es wie oben aufgehängt ist, in der Richtung des magnetischen Meridians beharren. Die Kraft, mit welcher es in diese Lage zurückzukehren strebt, wenn es bis zu einem Winkel von 90^0 mit dem magnetischen Meridian gedreht worden ist, nennt man sein *Drehungsmoment*. Wenn dieses Drehungsmoment für die magnetische Erdkraft 1 und für das erste Stäbchen von der magnetischen Kraft 1, gleich 1 angenommen wird, so ist es für die magnetische Erdkraft T und für das Stäbchen, dessen Kraft gleich 1 ist, auch T-mal so gross, also $= T$, für das M-mal stärkere Stäbchen NS aber $= MT$. Dieses Drehungsmoment kann nun aus der Schwingungszeit des parallelepipedischen Stäbchens nach mechanischen Gesetzen auf folgende Art gefunden werden: Man bezeichne die Länge, Breite und das Gewicht des Stäbchens durch a, b und p, die Dauer einer einfachen (nicht doppelten) Schwingung durch t und die Zahl 3,141592... durch π, so ist unter der Voraussetzung, dass T die horizontale erdmagnetische Kraft nach dem oben festgesetzten Maasse ausdrückt, das Drehungsmoment oder

$$MT = \frac{\pi^2\,(a^2 + b^2)}{12\,t^2} \cdot p \qquad \text{I.}$$

In dieser Formel muss man die Länge und Breite durch Millimeter, das Gewicht durch Milligramme und die Zeit durch Secunden ausdrücken. Nun denke man sich eine andere Nadel ns von der magnetischen Kraft m, Fig. 506, Seite 511, welche horizontal aufgehängt ist, und durch die Nadel NS mit der Kraft M, deren Entfernung gleich R ist, in die Lage $n's'$ versetzt, also um den Winkel v von dem magnetischen Meridian abgelenkt werde. Das Drehungsmoment dieser Nadel ist vermöge des Erdmagnetismus nach dem Obigen gleich mT. Das Drehungsmoment, welches bloss von dem Stäbchen NS auf die Nadel ns ausgeübt wird, heisse F, so müssen diese beiden Drehungsmomente, welche auf die Nadel ns wirken, ihr die Lage $n's'$ ertheilt haben. Vermöge der Zerlegung dieser Kräfte nach der Richtung ns und einer dazu senkrechten Richtung, muss das Verhältniss dieser Drehungsmomente durch das Verhältniss von pq zu pr, wie schon in §. 403 erläutert wurde, angegeben werden, und es ist daher

$$\frac{mT}{F} = \frac{\cos v}{\sin v},$$

$$\text{folglich} \quad mT = \frac{F}{\operatorname{tang} v} \qquad \text{II.}$$

Nun hat *Gauss* bewiesen, und es ist auch im §. 403 erläutert worden, dass das Drehungsmoment F, mit der magnetischen Kraft m der Nadel, der Kraft M des Stäbchens und der Entfernung beider, oder R, wenn R im Verhältniss zu den Nadeln gross ist, durch folgende Gleichung zusammenhängt

$$F = \frac{2\,Mm}{R^3} \qquad \text{III.}$$

Multiplicirt man I. mit II. und III., so wird nach geschehener Vereinfachung

$$T^2 = \frac{\pi^2\,(a^2 + b^2)}{6\,t^2} \times \frac{p}{R^3 \operatorname{tg} v}.$$

Bei einem Stäbchen, dessen Länge $= 101$ Millim., Breite $= 17{,}5$ Millim. und Gewicht $= 142000$ Milligr. ist, und welches zu einer Schwingung 6,67″ Zeit braucht, und in der Nadel ns aus 450 Millim. Entfernung eine Ablenkung von $10^0\ 53'$ hervorbringt, ist also

$$T^2 = \frac{3{,}14^2 \ldots (101^2 + 17{,}5^2)}{6\ .\ 6{,}67^2} \cdot \frac{142000}{450^3\ .\ \operatorname{tg} 10^0\ 53'},$$

$$\text{folglich} \qquad T = 1{,}774.$$

Will man daraus die ganze magnetische Kraft finden, so muss man diese Zahl durch den Cosinus der Inclination dividiren.

Noch vorzüglicher als dieser Reiseapparat ist das von *Gauss* und *Weber* angegebene transportable Magnetometer, welches auf ähnliche Art eingerichtet ist, aber mit compendiöser Form alle Vorzüge des Magnetometers verbindet. Die Kiste, in welche es verpackt wird, dient zugleich zum Aufhängen des Ablenkungsstabes bei den Schwingungsversuchen, und man kann die unifilare Aufhängung desselben

auch in eine bifilare verwandeln. Dieses Instrument kann also zur genauen Bestimmung der Declination und ihrer Variationen, der Intensität des Erdmagnetismus und seiner Variationen, so wie auch in Verbindung mit einem andern, später zu beschreibenden magnetischen Inductions-Apparat, zur Bestimmung der Inclination gebraucht werden.

Für Göttingen fand *Gauss* die horizontale magnetische Kraft am 18. Sept. 1836 = 1,782, und am 15. October 1836 = 1,786. Nach *Lamont* betrug sie am 1. Januar 1858 in Brüssel 1,822, Lissabon 2,210, Madrid 2,172, Paris 1,876, Bonn 1,828, Hannover 1,789, Königsberg 1,717, München 1,9712.

§. 405.

Bei der Bestimmung der vorstehenden Gesetze über die Wirkung der magnetischen Kräfte wurde keine Rücksicht auf den Sättigungsgrad des Magnets, noch auf die Temperatur genommen; dass diese aber einen wichtigen Einfluss darauf haben, wird im Folgenden gezeigt werden.

Kupffer fand durch die Oscillationsmethode (vide §. 86), dass in einem nicht bis zur Sättigung magnetisirten Stabe, wenn er vertikal aufgestellt wird, und sein Nordpol oben ist, der Südpol mehr Kraft hat, als der Nordpol, und dass der Indifferenzpunkt dem letztern näher liegt; wird aber der Stab umgekehrt, so steigt die magnetische Kraft beider Pole durch den Einfluss des Erdmagnetismus, und der Indifferenzpunkt nähert sich der Mitte. Auch fand er, dass, wenn das eine Ende des Magnets zugespitzt wird, die Kraft an diesem Ende abnimmt, und dass der Indifferenzpunkt sich von ihm zurückzieht. *Coulomb* bewies durch Versuche, welche durch die *Häcker*'sche Untersuchung, §. 396, Anm., bestätigt wurden, dass bei magnetischen Magazinen die Kraft in einem viel geringern Verhältnisse zunimmt, als die Anzahl der Stäbe, und schloss daraus, dass sie bei Büscheln aus vielen gleich starken Magnetnadeln nach der Mitte abnimmt. Daraus würde folgen, dass bei einem Magnete die Kraft auf der Oberfläche grösser ist als in seinem Innern. Auch hat *Häcker*, wie schon im §. 396, Anmerk., erwähnt, nachgewiesen, dass die Tragkraft mehrerer Stäbe zusammengenommen, etwas grösser ist, als die eines einzelnen Stabes von gleichem Gewicht. Daraus schloss man ebenfalls, dass die magnetische Vertheilung an der Oberfläche grösser sein müsse als im Innern, was aber nach neueren Untersuchungen zweifelhaft ist. *Nobili* glaubt, dass der Grund davon, und warum überhaupt gehärteter Stahl magnetisch bleibt, und ungehärteter Stahl und Eisen ihren Magnetismus verlieren, vielleicht in Folgendem zu suchen sei: Beim Härten werden die äussern Theile schneller erkältet, als die innern, und erhalten also eine grössere Dichtigkeit. Der Magnetismus wird darum in einem gehärteten Stahle ungleich vertheilt, und zwar stärker auf der Oberfläche als in seinem Innern. Beim Hämmern eines Eisens, so wie beim Drahtziehen, findet dasselbe statt, und da bei kleinen Magneten das Verhältniss der Oberfläche zur Masse stärker ist, so werden sie auch stärker magnetisch. Diese Ansicht unterstützte er durch folgenden Versuch: Er nahm zwei eiserne Cylinder von gleicher Länge und gleichem Durchmesser; der eine war massiv, der andere seiner Länge nach mehrmals durchbohrt. Als sie gehärtet und bis zur Sättigung magnetisch gemacht waren, hatte der durchbohrte Cylinder eine viel grössere magnetische Kraft, als der andere; indem der durchbohrte Cylinder innen und aussen gehärtet wurde, bedeckte ihn auf zwei Seiten

eine härtere Rinde, welche zur Erhaltung der magnetischen Vertheilung beitrug.

§. 406.

Ueber den Einfluss der Temperatur auf die magnetische Kraft, welche der Erdmagnetismus in dem Eisen durch Vertheilung zu erregen vermag, herrschten lange Zeit verschiedene Ansichten. *Barlow* nahm rechtwinklige Stäbe von verschiedenen Eisen- und Stahlsorten, und brachte sie in die Lage, welche der resultirenden Kraft des Erdmagnetismus entspricht. Durch Beobachtung der Ablenkung einer in der Nähe aufgestellten Magnetnadel fand er, dass bei gewöhnlicher Temperatur das Schmiede-Eisen am stärksten magnetisch wurde; darauf folgten ungehärteter Gussstahl und Stahl, gehärteter Gussstahl und Stahl, und zuletzt Gusseisen. Bei zunehmender Hitze änderte sich aber dieses Verhältniss, und in der Hitze zwischen dem Rothglühen und Weissglühen übertraf das Gusseisen an magnetischer Kraft alle andern Sorten, während ihnen das Schmiede-Eisen nachstand. In einem bis zum Weissglühen erhitzten Eisenstabe fand sich gar keine magnetische Vertheilung; als er aber erkaltete, trat sie merklich hervor, und war bei der blutrothen Farbe desselben am stärksten. Die Coërcitivkraft ist also in der Weissglühhitze am stärksten, und beim Rothglühen schwächer als bei gewöhnlicher Temperatur. Nickel wird erst bei 350° Wärme unmagnetisch, Mangan aber schon bei 15 bis 20° C. Es ist darum denkbar, dass auch andere Körper, die bei gewöhnlicher Temperatur unmagnetisch sind, nur einer sehr grossen Kälte bedürfen, um magnetisch zu werden. Die Stärke der magnetischen Vertheilung hängt auch von der Schnelligkeit ab, mit welcher eine Stahlstange abgekühlt wird, und von der Temperatur, welche sie vorher angenommen hatte. *Coulomb* zeigte, dass ein Eisenstab, welcher bei der kirschrothen Farbe, also bei ohngefähr 900° Wärme, schnell abgekühlt wurde, durch Streichen nachher fast die doppelte magnetische Kraft erlangte, als wenn man ihn an der Luft erkalten liess.

Mit Hilfe sehr starker Elektromagnete hat *Faraday* in neuerer Zeit gefunden, dass die Körper durch Erhitzung ihren Magnetismus nie ganz verlieren, obschon z. B. Nickel bei einer Hitze von circa 300° von einem gewöhnlichen Magnet nicht mehr angezogen wird. Die Lösungen von Eisenvitriol und andern Verbindungen des Eisens verlieren sogar bei Erhitzung nicht merklich von ihrem Magnetismus.

§. 407.

Obschon nach dem vorigen §. durch Vertheilung der Magnetismus des weichen Eisens bis zur Rothglühhitze zunimmt, so nimmt der dauernde Magnetismus des Stahles doch mit der Wärme ab. *Kupffer* fand, dass diese Abnahme im einfachen Verhältnisse mit der Zunahme der Wärme steht. Innerhalb gewisser Grenzen verliert nach *Christie* ein Magnet durch den Wechsel der Temperatur auf die Dauer nichts von seiner Kraft; bei einer höheren Temperatur (ungefähr 36° C.) geht aber ein Theil derselben für immer verloren. Vergl. §. 400. Beim Erkalten eines Magnets, welches unter der Luftpumpe durch Aether hervorgebracht werden kann, nimmt seine Stärke zu. Diese Zunahme, so wie die Ab-

nahme, findet fast plötzlich statt, welches zu beweisen scheint, dass der Magnetismus seinen Sitz in der Oberfläche hat. Sie ist nicht gleichförmig auf der ganzen Länge, sondern an den Enden stärker als in der Mitte. Erhitzt man einen Magnetstab nur an einem Ende, so entfernt sich der Indifferenz-Punkt davon, weil die magnetische Kraft an diesem Ende abnimmt. Nadeln aus hartem Stahle haben nach dem Erkalten mehr Kraft, als während demselben, und verlieren, wenn man sie öfter magnetisirt und jedesmal wieder erhitzt, immer weniger von ihrer magnetischen Stärke. Vergl. §. 400. Diess ist ein bequemes Mittel, Magnetnadeln von dauernder Kraft zu verfertigen, wenn sie zugleich vor Rost geschützt werden.

Bezeichnet man die magnetische Kraft einer Nadel von 2 Zoll Länge bei t^0 *R* Wärme durch *k*, bei T^0 mit *K* und den Durchmesser mit *d*, so ist

$$K = k\,(1 - 0{,}000461\,.\,(T - t)\,d);$$

für Nadeln von 34 par. Lin. und etwas darüber ist

$$K = k\,(1 - 0{,}000321\,.\,(T - t)\,d).$$

§. 408.

Der Einfluss des Erdmagnetismus auf das Eisen bringt in regelmässigen Körpern eine Vertheilung hervor, welche in manchen Fällen wichtig ist. *Barlow* bemerkte, dass eine eiserne Kugel dadurch eine magnetische Achse erhält, welche der resultirenden Kraft des Erdmagnetismus parallel ist, und einen dazu senkrechten magnetischen Aequator. Eine Magnetnadel, welche in die Ebene des Aequators einer solchen Kugel gebracht wird, erleidet keine Ablenkung, indem sie von ihrem Nord- und Südpole gleich stark angezogen wird, während nördlich oder südlich davon die Ablenkung um so stärker ist, je näher sich die Nadel dem von Ost nach West gehenden Meridian dieser Kugel befindet.

Barlow fand, dass die Tangenten der Ablenkungswinkel auf einer Linie, die durch den Mittelpunkt der Kugel ging, sich umgekehrt wie die Cubikzahlen der Entfernungen von diesem Mittelpunkte, und bei verschiedenen Kugeln, in einerlei relativer Lage, direct wie die Cubikzahlen der Durchmesser verhielten. Bei hohlen Kugeln oder Bomben erhielt er dasselbe Resultat, wie bei massiven Kugeln von gleichem Durchmesser; doch musste die Dicke der Schale wenigstens $^1/_{30}$ vom Durchmesser betragen. Auch hieraus folgt, dass die magnetische Kraft hauptsächlich an der Oberfläche wirksam ist. Diese Entdeckungen hat *Barlow* bei der Gelegenheit gemacht, als er die schädliche Ablenkung des Compasses durch das auf den Schiffen befindliche Eisen durch Befestigung einer andern Eisenmasse in der Nähe der Nadel aufzuheben suchte. Zu diesem Zweck bestimmen zwei Beobachter, wovon der eine am Lande, der andere auf dem Schiffe ist, die Unterschiede zwischen den Declinationen des Compasses auf dem Schiff und des Compasses am Lande, in den verschiedenen Stellungen des Schiffes gegen den Meridian. Diese Unterschiede werden aufgezeichnet, und indem man nun den Compass vom Schiff an's Land bringt, wird an seinem Gestelle eine Eisenplatte so befestigt, dass man leicht ihre Stellung verändern kann, bis man durch Versuche den Ort gefunden hat, an welchem sie befestigt sein muss, um bei jeder Drehung des Gestells denselben Unterschied in der Declination der Magnetnadel hervorzubringen, wie auf dem Schiff, wenn dieses um denselben Winkel gedreht wurde. Gibt nachher, ohne die Compensations-Platte, die Magnetnadel z. B. 36° Abweichung an, und mit ihr 40°, so ist die wahre Abweichung 36° — 4° oder 32°, weil die Wirkung der Compensations-Platte auf die Nadel so gross ist, als die des Eisens im Schiff. Auch die Chronometer erleiden durch den Magnetismus störende Veränderungen, welche am wenigsten nachtheilig sind, wenn man die Uhr, fern vom Eisen, immer an demselben Platz hängen lässt.

§. 409.

Coulomb hat ausser dem Eisen, Nickel und Kobalt noch viele andere Körper gefunden, die vom Magnet angezogen werden. *Brugmann* hat ausserdem die Entdeckung gemacht, dass sich einige Körper, z. B. Wismuthstäbe, zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets nicht parallel mit der Verbindungslinie derselben, also nicht *axial* stellen, sondern eine dazu senkrechte Richtung annehmen, welche man die *aequatoriale* nennen kann. Man erklärte sich diese Erscheinung dadurch, dass man annahm, sie würden transversal magnetisch. *Faraday* hat aber im Jahr 1845 die höchst wichtige Entdeckung gemacht, dass alle starren und tropfbar-flüssigen Körper von einem sehr kräftigen Elektromagnet und ohne Zweifel auch von einem gleichstarken andern Magnet entweder angezogen oder abgestossen werden. Letztere nannte er *diamagnetische Körper*. Unter den bekannten Metallen sind Eisen, Nickel, Kobalt, Mangan, Platin, Cerium, Osmium und Palladium paramagnetisch. Wismuth, Antimon, Zink, Zinn, Quecksilber, Blei, Silber, Kupfer, Gold, Arsen sind mit abnehmender Stärke diamagnetisch. Die Verbindungen und Lösungen paramagnetischer Körper zeigen sich in der Regel ebenfalls paramagnetisch. So ist z. B. Eisenvitriol paramagnetisch, Wasser diamagnetisch. Durch Auflösung von mehr oder weniger Eisenvitriol in Wasser kann man eine Mischung bereiten, die, in ein dünnes Glasröhrchen gebracht, entweder angezogen oder abgestossen wird; sie kann aber nie im Allgemeinen indifferent sein, indem nach *Plücker* eine grössere Menge von Magnetismus erforderlich ist, um eine kleine Menge von Diamagnetismus zu neutralisiren. Wäre also ein Körper für einen Magnet von bestimmter Kraft und in bestimmter Entfernung indifferent, so müsste er es desshalb doch nicht für einen andern Magnet sein. Auch der Diamagnetismus nimmt mit der Wärmezunahme ab, wie der Magnetismus.

Zwischen den Polen eines sehr kräftigen Elektromagnets in Hufeisenform stellen sich Cylinder und Stäbchen diamagnetischer Substanzen vermöge der Abstossung aequatorial, wenn sie an ungedrehten Seidenfäden aufgehängt sind. Die Aenderung der Polarität bringt in ihrer Lage keinen Wechsel hervor. Diese Aufhängungsart ist das leichteste Mittel, zu prüfen, ob ein Körper paramagnetisch oder diamagnetisch ist. Ausser obigen Körpern zeigen sich auf diese Art paramagnetisch: Manche Sorten Papier und Siegellack, Flussspath, Graphit, Holzkohlen u. s. w., und Sauerstoffgas. Diamagnetisch sind z. B. noch Bergkrystall, Alaun, Wasser, Alkohol, Aether, Glas, Schwefelsäure, Phosphor, Schwefel, Zucker, Holz, Blut, Aepfel, Brod. Ebenso sämmtliche Gase und Dämpfe, ausser dem Sauerstoff. Höchst merkwürdig sind auch die Veränderungen, welche in der Richtung paramagnetischer und diamagnetischer Substanzen vorgehen, wenn sie in solchen Flüssigkeiten aufgehängt werden. Ein paramagnetischer Körper ist in einer gleichstarken paramagnetischen Flüssigkeit indifferent, in einer stärker paramagnetischen stellt er sich äquatorial, in einer schwächern axial, und in jeder diamagnetischen Flüssigkeit ebenso. Ein diamagnetischer Körper, umgeben von magnetischer oder diamagnetischer Substanz, stellt sich aequatorial. Umgibt man aber eine mit Luft oder Dampf gefüllte dünne Glasröhre

selbst das Vacuum darin mit einer paramagnetischen Flüssigkeit, so stellt sie sich aequatorial, während sie in einer diamagnetischen Substanz sich axial stellt. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die diamagnetischen Körper Träger der magnetischen Kraft sind, und dass die magnetische Abstossung in der Natur eine sehr wichtige Rolle spielt. Dieses beweist auch die von *Plücker* gemachte Entdeckung, dass, wenn man einen optisch einaxigen Krystall, z. B. einen parallel mit der Achse geschliffenen Turmalin an einen Faden, zwischen den Polen eines starken Magnets oder am besten eines Elektromagnets aufhängt, derselbe sich axial stellt, wenn seine Achse mit der Richtung des Fadens parallel ist. Dagegen stellt er sich aequatorial, wenn seine Achse senkrecht zum Faden ist, und es ist also gerade so, als würde seine Achse abgestossen.

Im Allgemeinen sind alle Krystalle entweder paramagnetisch oder diamagnetisch. Nimmt man, wie in §. 278, Fig. 386, die drei Elastizitäts-Achsen zu Hilfe, und ist der Krystall *paramagnetisch,* so ist die Wirkung des Magnetismus auf die grösste Elastizitäts-Achse am grössten, auf die kleinste am kleinsten. Er stellt sich also zwischen den Polen eines Magnets parallel der grossen Elastizitäts-Achse. Sind die zwei kleinen Achsen gleich, so stellt er sich eben so. Sind alle drei gleich, so nimmt er keine bestimmte Richtung an.

Ist der Krystall *diamagnetisch*, so wird die grösste Elastizitäts-Achse am stärksten abgestossen und stellt sich aequatorial. Sind die zwei kleinen gleich, so stellt er sich eben so.

Nach *Knoblauch* dagegen ist die magnetische oder diamagnetische Wirkung an solchen Krystallen immer in der Richtung am stärksten, in welcher ihre materiellen Theilchen am dichtesten bei einander stehen. Presst man eine weiche diamagnetische Masse, z. B. einen Cylinder aus Mehl und Gummiwasser, der sich also aequatorial stellt, in der Richtung seiner Achse zusammen, so stellt sich seine Achse noch aequatorial, selbst wenn sie viel kleiner als der Durchmesser geworden ist.

Der Magnetismus hat umgekehrt auch Einfluss auf die Bildung der Krystalle. Als *Plücker* zwischen den Magnetpolen geschmolzenes Wismuth langsam erkalten liess, zeigte sich, dass die Ebenen der vollkommensten Spaltbarkeit meistens nach der aequatorialen Richtung lagen, und *Faraday* hatte schon gefunden, dass die Hauptspaltungsrichtung im Wismuth es ist, die vorzugsweise die aequatoriale Lage annimmt. Die Kraft, welche die diamagnetische Wirkung hervorbringt, nimmt mit der Entfernung rascher ab als die magnetische Wirkung, und diese noch rascher als die Wirkung auf die optischen Achsen. In welcher Verbindung die Erscheinungen des Diamagnetismus mit der magnet-elektrischen Induktion stehen, wird in dem letzten Abschnitt gezeigt werden.

IX. Abschnitt.

Von der Elektrizität.

A. Von der Elektrizität überhaupt.

§. 410.

Mit dem Worte *Elektrizität* bezeichnet man die unbekannte Ursache einer zahlreichen Menge von Erscheinungen, welche von einem eigenthümlichen und vorübergehenden Zustande der Körper abhängen. Eine der bekanntesten elektrischen Erfahrungen ist die, dass eine Glasröhre, die man mit einem seidenen Tuche reibt, dadurch das Vermögen erlangt, leichte Körper, z. B. ein fliegendes Goldblättchen, anzuziehen und nach der Berührung wieder abzustossen. Zur Erklärung dieser Erscheinungen nahm man sonst das Vorhandensein einer sehr feinen, unwägbaren und ausdehnsamen Materie an. Da man jedoch gar keinen Beweis hat, dass die Elektrizität getrennt von der übrigen Materie existiren könne, so ist es wahrscheinlicher, dass ihre Erscheinungen erklärt werden müssen durch eine solche Wirkung der Körper auf einander, welche im Stande ist, zwei verschiedene Kräfte (Polarkräfte) in den entgegengesetzten Punkten desselben Theilchens zu entwickeln, und dass die Wirkung dieser wägbaren materiellen Theilchen auf einander und auf den sie umgebenden Aether, also nicht eine besondere Materie, die Ursache der elektrischen Erscheinungen ist. Die Ausdrücke: Elektrische Materie, elektrisches Fluidum, müssen indessen zur bequemern Bezeichnung der Erscheinungen beibehalten werden.

Das Wort Elektrizität kommt von ἤλεκτρον oder Bernstein, an welchem die obige Eigenschaft des Glases am frühesten bemerkt wurde. Ausserdem kommt sie auch dem Harze, Schwefel, Siegellack, Wachs, der Wolle, den Haaren und vielen andern Körpern zu. Man nennt solche Körper *idioelektrisch* oder selbst-elektrisch. Das Goldblättchen, welchem die Elektrizität der Glasröhre mitgetheilt wurde, heisst *symperielektrisch* oder elektrisch durch Mittheilung.

§. 411.

Wenn man das Goldblättchen an einem Seidenfaden aufhängt und ihm die Elektrizität der Glasröhre mittheilt, so wird es auch nach einiger Zeit noch von ihr abgestossen, und ist also elektrisch geblieben; hängt man es aber an einem leinenen Faden auf, so verliert es augenblicklich seine Elektrizität wieder. Der Seidenfaden leitet also die Elektrizität nicht fort, während der leinene Faden sie fortleitet. Eben so sind schlechte Leiter oder *Nichtleiter:* Glas, Gutta-Percha, durchsichtige Edelsteine, die Luft und alle trockenen Gase ausser dem Wasserstoffgas, die Metalloïde, alle brennbaren Mineralien, Wachs, Talg, Zucker, fette Oele, Elfenbein, Haare, Pelz und Federn. Die besten *Leiter* sind: Die Metalle, die Erze, gutgeglühte Kohle, Coaks, Anthrazit, Graphit, Bleiglanz und manche feuchte oder flüssige Körper, z. B. Salzsäure und

Salpetersäure. Auch der leere Raum wurde irrigerweise sonst zu den Leitern gerechnet. Unter den Gasen ist der Wasserstoff leitend. Weniger gute Leiter als die obigen sind: Pflanzen und Thiere, Wasser, Dünste u. s. w. Andere Körper lassen die Elektrizität noch schwieriger durch und heissen *Halbleiter*, wie die meisten Kreide- und Steinarten, z. B. Marmor und Alabaster, ferner Papier, Holz, Horn, Knochen u. s. w.

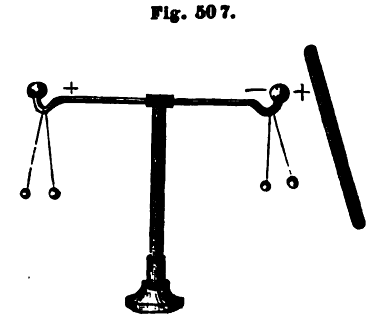
Wenn ein Körper die Elektrizität nicht verlieren soll, so muss man ihn also mit Nichtleitern umgeben oder *isoliren*. Eine 16 bis 22 Zoll lange und mit Schellack-Auflösung überzogene Glassäule oder ein Stäbchen von Gutta-Percha isoliren sehr gut, wenn sie vor dem Versuch mit warmen wollenen Tüchern abgerieben werden. Erhitzte Harze leiten, trockenes Wassergas leitet nicht. Diamant ist ein schlechter, Graphit ein guter Leiter. Glimmer isolirt weniger in der Richtung seiner Blätterdurchgänge, als in einer dazu senkrechten Richtung. Das Leitungsvermögen zusammengesetzter Körper lässt sich aus dem ihrer Elemente nicht bestimmen; Quecksilber z. B. ist ein guter Leiter, Schwefelquecksilber oder Zinnober ein Nichtleiter.

Nach *Faraday's* neueren Untersuchungen sind die trockenen Gase nicht gleich gute Isolatoren; indem ein elektrischer Funke z. B. leichter durch Sauerstoff schlägt, als durch eine gleichdicke Luftschichte.

§. 412.

Theilt man zwei isolirten Goldblättchen oder Binsenmarkstreifen die Elektrizität der Glasstange mit, so stossen sie sich ab. Vermehrt man durch Wiederholung dieses Versuches die Menge der Elektrizität in ihnen, so ist auch die Abstossung grösser. Eben so ist es, wenn beide durch eine geriebene Siegellackstange elektrisch geworden sind. Macht man aber das eine Goldblättchen durch Glas, das andere durch Siegellack elektrisch, so ziehen sie sich an, und wenn die Menge der in beiden angehäuften Elektrizitäten gleich war, so sind sie nach der Berührung unelektrisch. Da sich also im letzten Falle die beiden Arten von Elektrizität wie entgegengesetzte Grössen aufheben, so nennt man die Glaselektrizität *positiv*, und die Harzelektrizität *negativ*, oder die eine +, die andere —. Wenn man die Elektrizität des Körpers, womit ein anderer gerieben wird, auf die vorhin beschriebene Art untersucht, so findet man, dass sie immer der des geriebenen Körpers entgegengesetzt ist. Aus den obigen Erfahrungen folgt, *dass gleichartige Elektrizitäten sich abstossen, ungleichartige sich anziehen*, und dass gleiche Mengen entgegengesetzter Elektrizitäten in demselben Körper sich wechselseitig binden oder in ihren Wirkungen neutralisiren. Sehr geeignet zu diesem Ver such sind zwei lufthaltende zugebundene Kugeln von Collodium, die an Seidenfäden aufgehängt sind. Zieht man jede ein- oder zweimal durch die trockene Hand, so sind sie so stark negativ elektrisch, dass sie sich kräftig abstossen.

Fig. 507.



Nähert man einem isolirten Draht, Fig. 507, eine geriebene Glasstange, so gehen zwei daran aufgehängte Korkkugelpaare sogleich aus einander, und zwar das der Glasröhre nächste Paar mit negativer, und das andere mit positiver Elektrizität. Es findet also dabei die-

selbe Vertheilung statt, wie bei dem Magnetismus in dem weichen Eisen; und es ist auch hier, wie dort, nicht möglich, in einem Körper nur die eine oder die andere Art von Elektrizität durch Vertheilung hervorzurufen. Es besteht aber desshalb doch ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden, indem der elektrische Zustand in allen Körpern hervorgerufen werden kann, von einem Körper auf den andern überzugehen vermag, und durch viele Körper fortgeleitet wird, und einem Körper auch bloss *eine* Art von Elektrizität mitgetheilt werden kann, welches beim Magnetismus nicht der Fall ist. Ohne Zweifel bewirkt auch die elektrische Glasröhre in den sie umgebenden Lufttheilchen und in den entfernteren Körpern eine ähnliche Vertheilung, und eine elektrische Korkkugel wird nur desshalb von den nahestehenden Körpern angezogen, weil sie in ihnen schon eine Vertheilung bewirkt hat. Diese Vertheilung wächst mit der Annäherung, und steigert sich bis zu einem gewissen Grade, welchen man den Grad der *Ladung* nennt. Man nennt die Elektrisirung durch die Nähe eines elektrischen Körpers, *Elektrisirung durch Influenz.* Berühren sich zwei entgegengesetzt-elektrische Körper von gleich starker Ladung, so kehren sie wieder in den natürlichen Zustand zurück, und diese Rückkehr nennt man die *Entladung.* Sie kann auch dadurch erfolgen, dass man zwischen die beiden entgegengesetzt-elektrischen Körper einen Leiter, z. B. einen Metalldraht, bringt. In diesem beginnt alsdann von beiden Seiten zugleich eine Vertheilung, welche daher um so wirksamer ist, mit grosser Geschwindigkeit fortschreitet, und eben so schnell eine Entladung zur Folge hat.

Die Elektrizität tritt darum hauptsächlich in zwei verschiedenen Zuständen als wirksam auf, die man mit dem Zustande des Gleichgewichts und der Bewegung (Elektrostatik und Dynamik) bezeichnet. In dem erstern haben die Theilchen des elektrischen Körpers einen gewissen Spannungszustand angenommen; die polaren Kräfte (+ und — Elektrizität) treten entwickelt hervor; in dem letztern kehren die materiellen Theilchen nach der Vertheilung ihrer beiden Elektrizitäten wieder in ihren ursprünglichen Zustand zurück, können aber den erstern gleich darauf wieder annehmen u. s. w. Dadurch entsteht alsdann das, was man einen *elektrischen Strom* nennt.

Die Wirkungen beider Zustände lassen sich im Vortrage nicht gänzlich von einander trennen, und desshalb wird in diesem Abschnitte zwar vorzugsweise von der statischen Elektrizität die Rede sein, aber auch das Nöthigste von der Elektrodynamik vorkommen und ein besonderer Abschnitt sich mit der gegenseitigen Einwirkung elektrischer Ströme und ihrer Einwirkung auf den Magnetismus u. s. w. befassen.

§. 413.

Um schwache Wirkungen der Elektrizität zu entdecken, hat man verschiedene Apparate ausgedacht, welche man *Elektroscope* oder *Elektrometer* nennt. Den letzten Namen verdienen sie nur dann, wenn sie zu wirklichen Messungen brauchbar sind.

Das einfache *Elektroscop* besteht aus zwei an einem Faden aufgehängten Kügelchen von Kork oder Hollundermark. Die Mitte des Fadens ist durch einen isolirten Draht unterstützt, so dass die Kügelchen neben einander hängen, und sich abstossen, wenn sie mit einem elektrischen Körper berührt werden. Sehr empfindlich ist auch ein Metall-

stäbchen mit abgerundeten Enden, welches sich, wie die Magnetnadel (Fig. 480, S. 485), auf einer feinen Spitze drehen lässt, und durch einen elektrischen Körper angezogen wird. Ist es isolirt, so wird es nach der Anziehung wieder abgestossen.

Das *Strohhalm-Elektrometer* von *Volta*, Fig. 508, besteht aus zwei feinen Strohhalmstreifchen, die an zwei kleinen Ringen von Silberdraht hängen. Diese Ringe sind an einem starken Messingdrahte befestigt, welcher in einem metallenen Knopfe sich endigt. Zur vollkommenern Isolirung ist dieser Messingdraht in eine Glasröhre eingekittet. Das *Bennet*'sche *Goldblattelektroscop* enthält statt der Strohhalme zwei Streifchen von Blattgold. Die beiden letzten Elektroscope sind in eine Glasglocke, oder noch besser, in eine Glaskugel eingeschlossen, welche den Einfluss der Luftbewegung und der Feuchtigkeit abhält, und sie zugleich isolirt. Bringt man einen elektrischen Körper in Berührung mit dem Knopfe des Elektroscopes, so stossen sich die Strohhalme oder Goldblättchen ab. Nähert man ihm hierauf eine geriebene Siegellackstange, so fallen sie entweder zusammen oder sie gehen durch Influenz noch weiter aus einander. Im ersten Falle war nach §. 412 die Elektrizität jenes Körpers positiv, im letzten Falle war sie negativ.

Fig. 508.

Fig. 510.

Fig. 509.

Sehr empfindlich sind auch die Elektroscope von *Dellmann*, *Peltier* und das von *Oersted*, Fig. 509, welches die Eigenschaften der beiden andern vereinigt. Das cylindrische Glasgefäss ist luftdicht mit einem gefirnissten Deckel von Holz geschlossen, durch dessen Mitte ein Glasrohr geht. In dieses ist ein metallenes Röhrchen *bc* eingekittet, auf dem oben ein metallener Knopf oder ein ebenes Plättchen *a* befestigt ist. *ce* und *cr* sind zwei Messingdrähte, die an dieses Metallröhrchen gelöthet sind. Der bei *b* befindliche Stift lässt sich drehen. Um ihn ist das eine Ende eines Coconfadens gewunden, an dem bei *s* ein kleiner Bügel *oso* von sehr feinem Stahldraht hängt, der schwach magnetisch ist. In diesem Bügelchen liegt ein dünner Messingdraht *mm*. Stellt man das Instrument so auf, dass der Bügel vermöge des Erdmagnetismus den Draht *mm* in Berührung mit dem

Draht *ecr* bringt, und berührt man *a* mit einem Körper, der nur eine Spur von Elektrizität hat, so wird *mm* von *cr* abgestossen. Nähert man einen gleichartigen elektrischen Körper, so nimmt diese Abstossung zu und umgekehrt. Das Gläschen *k* enthält etwas Chlorcalcium, damit die Luft in dem Elektroscop trocken bleibt.

Kohlrausch hat das Dellmann'sche Elektrometer in ein Messinstrument verwandelt, welches zugleich sehr empfindlich ist. Die Drehwaage, Fig. 510, S. 522, vereinigt diese Eigenschaften. An dem drehbaren Stift *a* hängt mittelst eines Coconfadens ein leichter Waagbalken *bc* von Metall. Er wird mit seiner Mitte in ein Streifchen Messing oder Silberblech herabgesenkt, dessen eine Hälfte nach vorne, die andere nach hinten aufgebogen ist, so dass sich *bc* der Länge nach mit der einen Hälfte an die eine Seite, mit der andern an die andere Seite des Streifchens anlegen kann. Mittelst des Stifts *a* dreht man den Coconfaden so, dass der Waagbalken ganz wenig an das Streifchen angedrückt wird. Dieses steht mit dem Teller *d* eines Condensators oder einer Kugel, die an dessen Stelle geschraubt werden kann, in leitender Verbindung. Theilt man dem Teller eine geringe Menge Elektrizität mit, so wird der Waagbalken um so stärker abgestossen, je grösser ihre Dichte ist.

§. 414.

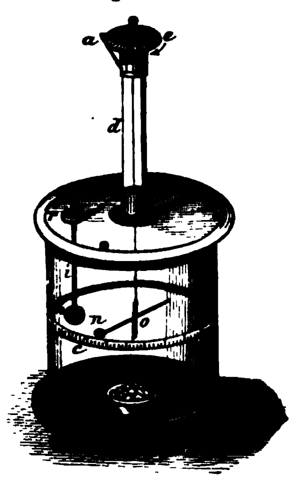
Zur Schätzung der abstossenden Kraft einer grössern Menge von Elektrizität dient *Henley's Elektrometer*, Fig. 511. Es besteht aus einem Halbkreise von Elfenbein, der in Grade eingetheilt, und an einem runden leitenden Stäbchen befestigt ist. Um den Mittelpunkt des Halbkreises dreht sich ein leicht beweglicher Zeiger, der sich unten in eine kleine Kugel von Hollundermark endigt. Diese Kugel entfernt sich um so weiter von dem Fusse des Elektrometers, je grösser die abstossende Kraft der Elektrizität ist.

Fig. 511.



Zu Messungen über die abstossende Kraft der Elektrizität dient die *Coulomb*'sche *Drehwaage*, Fig. 512, welche zu diesem Zwecke in grösserem Maassstabe ausgeführt sein muss, als zu den magnetischen Versuchen. In dem Cylinder und der Röhre von Glas hängt an einem feinen Silberfaden, oder noch besser, an einem Glasfaden ein horizontales Stäbchen von Schellack. Dieses trägt an dem Ende *n* eine kleine vergoldete Kugel oder ein kreisförmiges Scheibchen von Flittergold, und bei *o* ein kleines Gewicht. Der innere Raum wird durch geschmolzene Pottasche oder lebendigen Kalk trocken erhalten, und in der Höhe des Schellackstäbchens ist ringsum ein in 360° getheilter Streifen Papier geklebt. Das Scheibchen *e*, in dessen Mitte an einem Zapfen der Faden *do* befestigt ist, lässt sich herumdrehen, und der an die Glasröhre *d* befestigte Zeiger *a* gibt die Grösse der Drehung des Scheibchens *e* an. Je dichter die einem andern mit *n* gleichgrossen und isolirten Probescheibchen oder Kügelchen *m* mitgetheilte Elektrizität ist, desto weiter wird *n* nach Berührung von *m* abgestossen. Das Probescheibchen *m* ist durch ein dünnes und langes Schellackstäbchen isolirt. Der Abstossung widersteht nach §. 32 die Windung des Drahtes mit einer Kraft, welche dem Abstossungs-

Fig. 512.

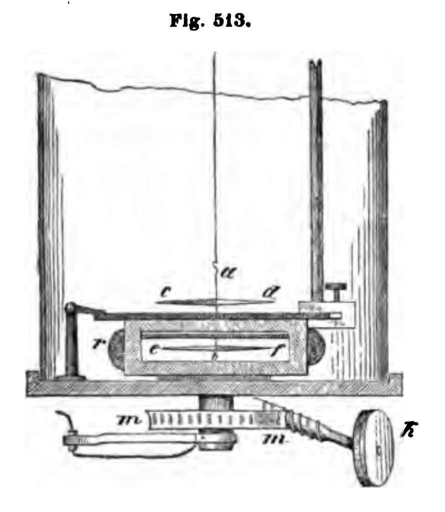


winkel, der durch die Scala *c* angegeben wird, proportional ist. Durch das Drehen der Scheibe *e*, in welcher der Silberdraht befestigt ist, kann dieser Widerstand beliebig vermehrt werden, wenn durch diese Drehung *n* gegen *m* ausgedrückt wird. Die Beschreibung der Messung folgt im §. 417.

§. 415.

Wenn die Elektrizität einen Metalldraht durchströmt, indem sie von einem Körper, der immer auf's Neue elektrisch wird, zu einem andern übergeht, so wirkt sie, wie später ausführlicher gezeigt werden wird, auf eine darüber oder darunter hängende Magnetnadel so, dass sie dieser eine zur Richtung des elektrischen Stromes senkrechte Stellung zu geben sucht. Hierauf beruht der von *Schweigger* erfundene Multiplicator, auch Galvanometer, durch welchen man die schwächsten elektrischen *Ströme* zu entdecken im Stande ist. In Fig. 513 ist ein solches Instrument angedeutet, welches aber viele Aenderungen erleiden kann. An einem Faden von ungedrehter Seide hängt ein 15—20 Millimeter langes Stäbchen *ab*, an welches zwei Magnetnadeln *cd* und *ef* von 30 bis 40 Millimeter Länge horizontal befestigt sind. Beide Nadeln müssen von fast gleicher magnetischer Stärke sein, und so gestellt werden, dass, wenn *d* der Südpol der einen, *f* der Nordpol der andern ist. Dadurch erhält man die §. 387 beschriebene *astatische* Vorrichtung, welche zwar nicht bewirkt, dass keine Nadel eine bestimmte Richtung annehmen kann, aber doch, dass die geringste Kraft diese Richtung zu ändern im Stande ist. Die untere Nadel *ef* hängt in einem hölzernen Rähmchen, das oben ein kleines Loch hat, durch welches *ab* frei spielend gehen muss. Um dieses Rähmchen geht ein mit Seide umsponnener dünner Kupferdraht in vielen Windungen, damit die Wirkung des Stromes auf die Magnetnadel vervielfacht wird. Dieses Rähmchen ist auf einer Holzscheibe befestigt, die sich mit demselben um einen vertikalen Zapfen drehen lässt. Mittelst einer Schraube ohne Ende *k*, deren Gänge in das gezahnte Rad *mm* greifen, kann man eine sehr geringe Drehung mit Sicherheit bewirken. Auf dem Rähmchen ist ein getheilter Kreis befestigt, wie Fig. 514 deutlicher zeigt, damit man die Ablenkung der Nadel ablesen kann. An diesen Kreis ist auch der Draht *fe* befestigt, an welchem die Nadel hängt. Diese kann durch eine bei *e* befindliche Schraube höher gestellt oder tiefer gesenkt werden. Die Drahtenden des Multiplicators treten bei *g* und *h* hervor, um sie mit den Polen einer Kette durch Klemmschrauben verbinden zu können. Ueber das Ganze ist ein Glascylinder gedeckt, der oben einen hölzernen Deckel hat, um ein kleines Fernrohr *p* von kurzer Brennweite

Fig. 513.



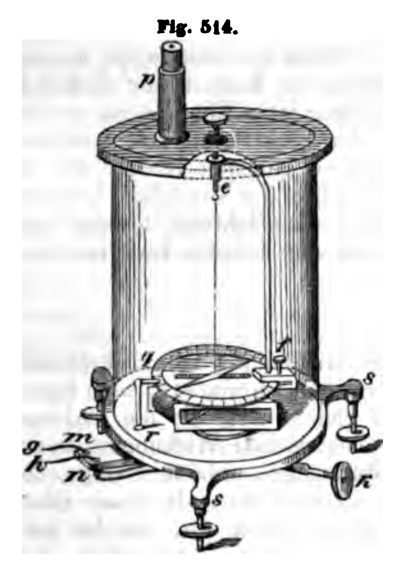


Fig. 514.

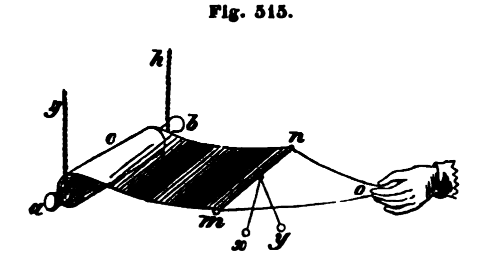
aufzunehmen, damit man die Stellung der Nadel genauer ablesen kann. Das Säulchen $q\,r$ mit dem den getheilten Kreis berührenden Zeiger dient dazu, um zu wissen, um wie viel Grade man das Rähmchen aus seiner frühern Stellung gedreht hat. Das Instrument wird so aufgestellt, dass die Drähte mit den Nadeln parallel sind. In dieser Stellung müssen diese auf den Nullpunkt der Theilung weisen.

In der vorangehenden Beschreibung einiger Instrumente sind Erscheinungen zu Grunde gelegt, deren weitere Ausführung erst später vorkommen kann. Diesen Fehler gegen die Gründlichkeit muss der Gewinn an Zeit und die Unmöglichkeit entschuldigen, durch andere Instrumente mit derselben Leichtigkeit den Zweck zu erreichen.

§. 416.

Wenn man einem leitenden isolirten Körper Elektrizität mittheilt, so verbreitet sich diese, wie schon Franklin fand, nur auf seiner Oberfläche, und nicht in seinem Innern. Um dieses zu beweisen, nimmt man zwei durch gläserne Griffe isolirte Schalen von Metall, welche eine Kugel, die an einem Seidenfaden hängt, genau umschliessen. Theilt man nun diesem Körper Elektrizität mit, so ist, nach der Abnahme der Schalen, die Kugel ganz unelektrisch. Dieses Gesetz kann man auch mit Hilfe des Apparates, Fig. 515, nachweisen, und zugleich zeigen, dass dieselbe Elektrizitätsmenge auf einer kleinern Oberfläche eine grössere Abstossungskraft erlangt, indem sie gleichsam dichter wird. Um den Cylinder von Messing $a\,b$, der in zwei Knöpfen sich endigt, ist ein Stück Goldpapier $c\,d$ gewunden. Dieses ist mit dem einen Ende an das Glasstäbchen $m\,n$ geklebt, an welchem mittelst leinener Fäden die Hollunderkügelchen x und y aufgehängt sind. Der Metallcylinder hängt an zwei Seidenfäden g und h, welche er aufrollt, wenn man bei o an den Seidenfäden $m\,o$ und $n\,o$ zieht, und dadurch das Goldpapier abwickelt. Theilt man nun dem abgewickelten Goldpapier so viel Elektrizität mit, dass die Kügelchen sich ein wenig abstossen, und lässt man die Spannung der Fäden bei o etwas nach, so wickelt sich das Goldpapier wieder auf und die Kügelchen stossen sich viel stärker ab, weil die Oberfläche kleiner ist.

Fig. 515.



Um sich zu überzeugen, dass nicht chemische Affinität die Verbreitung der Elektrizität auf der Oberfläche eines Körpers verursacht, elektrisirte *Coulomb* Kugeln von verschiedenen Stoffen, aber von gleichen Oberflächen. Er fand, dass, wenn die Menge der Elektrizität in diesen

Kugeln gleich gross war, sie auch dem Scheibchen in der Drehwaage gleiche Mengen von Elektrizität mittheilten. Diese Erscheinungen zeigen auch, dass die Elektrizität an der Oberfläche der Körper nur dadurch zurückgehalten wird, dass die Luft kein Leiter ist. Ehe *Harris* nachwies, dass der luftleere Raum kein Leiter der Elektrizität sei, sondern dass ein Körper seine Elektrizität darin eben so langsam verliere als in der Luft, wenn er nur in hinreichender Entfernung von allen Leitern der Elektrizität sich befindet, glaubte man, die Elektrizität werde an der Oberfläche der Körper durch den Druck der äussern Luft zurückgehalten.

§. 417.

Das Gewicht eines Körpers wird durch Mittheilung von Elektrizität weder vermehrt, noch durch Entziehung derselben vermindert; man kann daher die Menge der Elektrizität nicht auf gleiche Art, wie die anderer Materialien bestimmen. Wenn aber die elektrischen Wirkungen nach einem bekannten Gesetze von der Elektrizitätsmenge abhängig sind, so kann man letztere durch Rechnung finden. Nimmt man als Maass oder Einheit für die Elektrizitätsmenge diejenige Quantität an, welche auf 1 □Centimeter Fläche vertheilt, in der Entfernung von 1 Centim. die Abstossungskraft 1 gegen einen Körper von gleicher Oberfläche mit gleicher Elektrizitätsmenge ausübt, so übt die Elektrizitätsmenge m auf diesen Körper in obiger Entfernung die Abstossungskraft m aus. Hätte der zweite Körper die Elektrizitätsmenge n, so betrüge die Abstossungskraft $m \,.\, n$, oder sie ist dem Produkt aus den Elektrizitätsmengen proportional, wenn die Oberflächen gleich sind.

Wird die Elektrizitätsmenge m auf einer z. B. 5mal grössern Oberfläche verbreitet, so ist ihre Dichte 5mal kleiner oder nur $\frac{m}{5}$. Dieser Quotient der Elektrizitätsmenge und der Oberfläche ist der abstossenden Kraft der Theilchen proportional, und heisst auch die *Spannung*. Bleibt die Oberfläche unverändert, und nimmt die Menge der Elektrizität um das Doppelte oder Dreifache zu, so wird die Dichte zwei oder dreimal grösser. Daher ist auch bei Körpern von gleicher Oberfläche die *anziehende oder abstossende Kraft dem Produkt aus der Dichte der beiden Elektrizitäten proportional.*

Aendern sich die Entfernungen zweier gleichartig elektrischen Körper, so ändert sich auch ihre abstossende Kraft, und *Coulomb* hat gefunden, dass sie im *verkehrten Verhältniss mit dem Quadrate der Entfernung* steht. Dasselbe Gesetz befolgt auch die anziehende Kraft zwischen den Körpern von entgegengesetzter Elektrizität. Alle diese Gesetze hat *Coulomb* durch Versuche gefunden.

Von der Richtigkeit dieser Gesetze überzeugt man sich durch die *Coulomb*'sche Drehwaage (Fig. 512, S. 523). Dreht man das Scheibchen e, an welchem der Silberdraht befestigt ist, bis sich m und n ohne Windung des Silberdrahtes gerade berühren, und theilt man dem Scheibchen m die Elektrizität eines Körpers, in geringer Menge, etwa durch einen Stecknadelknopf oder ein kleines Probescheibchen mit, das an einem Schellackstäbchen befestigt ist, so wird n von m abgestossen. Der Winkel betrage z. B. 20°. Dreht man nun das Scheibchen e z. B. um 117° in der Richtung, in welcher durch die erfolgende Windung des Silberdrahtes das Scheibchen n gegen m angedrückt wird, so wird n von m nur noch um 8° abgestossen werden,

weil der Widerstand vermöge der Windung des Drahtes grösser geworden ist. Da sich bei trockener Luft und möglichster Schnelligkeit die abstossende Kraft nicht geändert hat und in der Entfernung von 20° die Windung des Drahtes 20°, in der Entfernung von 8° aber die Windung 117° + 8° oder 125° betrug, so verhalten sich die Windungen oder die abstossenden Kräfte wie 20 zu 125°, oder wie 4 zu 25. Die Entfernungen verhalten sich aber wie 20 zu 8, oder wie 5 zu 2; also die abstossenden Kräfte umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. Das obige Gesetz für die Abnahme der Anziehung entgegengesetzter Elektrizitäten fand *Coulomb* auf folgende Art: Er hing eine Nadel, wie *no*, horizontal auf und ertheilte ihrem isolirten Ende die entgegengesetzte Elektrizität einer gegenüber befestigten Kugel. Die Nadel gerieth dadurch in Schwingungen wie ein Pendel. Da nun die Quadrate der in gleichen Zeiten vollendeten Schwingungszahlen sich wie die anziehenden Kräfte verhalten, so liess sich aus den in verschiedenen Entfernungen enthaltenen Schwingungszahlen das Verhältniss der anziehenden Kräfte leicht bestimmen.

Diese Gesetze gelten streng genommen nur für Kugeln, deren Durchmesser sehr klein ist, im Verhältniss zu ihren Entfernungen.

§. 418.

Ein isolirter Körper verliert während des Versuches von der ihm mitgetheilten Elektrizität, theils weil die Isolirung nur unvollkommen ist, theils aber auch, weil die umgebende Luft und das Wassergas Elektrizität aufnehmen, und weil nach erfolgter Zurückstossung derselben andere an ihre Stelle treten, die nun denselben Verlust veranlassen. Den ersten Verlust kann man dadurch in einer kleinen Zeit auf Null bringen, dass man den Körper durch ein dünnes Stäbchen von Schellack isolirt; den letzten hat *Coulomb* dadurch gefunden, dass er bei einer gewissen Windung des Silberdrahtes an einer Drehwaage beobachtete, um wie viel er diese Windung nach einer Minute vermindern musste, damit die Entfernung, bis zu welcher das eine Scheibchen von dem andern abgestossen wurde, wieder dieselbe war als vorher. Er fand, dass das Verhältniss der verlorenen Abstossungskraft zur anfänglichen, sich nur mit der Feuchtigkeit der Luft ändere, und immer der Dichte der Elektrizität proportional ist. Die Natur des Körpers hat auf diesen Verlust keinen Einfluss, denn er betrug z. B. bei einem Versuche sowohl für Kugeln von Hollundermark als von Kupfer oder Schellack, von gleicher Grösse, in der Minute $^1/_{42}$. Wenn der Verlust durch die Luft bekannt ist, so kann man den durch unvollkommene Isolirung leicht finden, indem man den ersten von dem Gesammtverluste abzieht. *Coulomb* fand, dass auch hier der Verlust im Verhältnisse der Dichte zunimmt.

§. 419.

Die Dichte also auch die Abstossungskraft der Elektrizität an der Oberfläche einer frei hängenden Kugel ist überall gleich; aber diess ist nicht der Fall bei einem Cylinder, sondern sie ist bei diesem an den Enden grösser als in der Mitte, wovon man sich leicht mit Hilfe der Drehwaage überzeugen kann. Der Grund dieser Erscheinung liegt darin, dass zur Herstellung des Gleichgewichtes der Elektrizitätstheilchen an der Oberfläche eines Körpers die Wirkungen derselben auf jeden Punkt im Innern gleich sein müssen. Denkt man sich z. B. der Punkt *a* in Fig. 516 liege im Innern einer Kugel, und *mn* sei der Durchmesser eines sehr kleinen Kreises auf der Oberfläche derselben. Beschreibt man ferner mit dem Durchmesser *op* einen zweiten Kreis auf dieser Oberfläche, so verhalten sich diese Kreisflächen wie mn^2 zu op^2. Ist

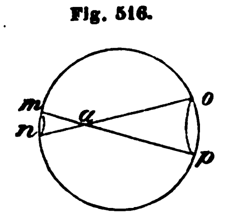


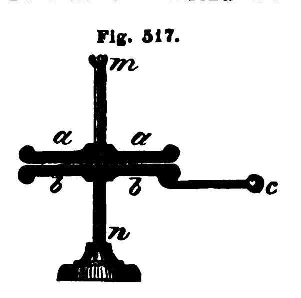
Fig. 516.

also z. B. *mn* der dritte Theil von *op*, so ist die Menge der elektrischen Theilchen auf *mn* nur der neunte Theil von denen auf *op*, wenn diese gleichförmig verbreitet sind, also wird *a* von *mn* neunmal schwächer angezogen als von *op*. In diesem Fall ist aber auch *am* nur der dritte Theil von *ap*; also die Anziehung wieder neunmal grösser, oder eben so gross als die von *op*. Hätte der Körper eine andere Gestalt, bei welcher diese Flächen nicht mehr proportional den Quadraten ihrer Entfernungen von *a* sind, so müsste die Dichte auf ihnen verschieden sein. Wenn ein Cylinder sehr dünn ist, so ist die Dichte der Elektrizität an beiden Enden sehr gross, und wenn er in einer Spitze sich endigt, so muss sie nach dieser hin noch mehr zunehmen. Da nun nach §. 418 der Elektrizitäts-Verlust eines Körpers mit seiner Dichte wächst, so muss er durch Spitzen sehr vergrössert werden. Daher geht von diesen die Elektrizität wie ein Strom in die Luft über. Desshalb muss man auch an Körpern, welche die Elektrizität zurückhalten sollen, alle Spitzen und scharfen Ecken vermeiden. Bei einer kreisförmigen Scheibe ist die Dichte aus denselben Ursachen am Rande viel grösser, als nahe an der Mitte. Die Versuche, durch welche *Coulomb* dieses gefunden hat, zeigen auch zugleich, dass die Dichte und Abstossungskraft der Elektrizität an den einzelnen Stellen eines Körpers in demselben Verhältnisse wächst, in welchem die Elektrizitätsmenge zunimmt, die man ihm mittheilt.

§. 420.

Für statische Elektrizität sind die in den §§. 413 und 414 beschriebenen Apparate nicht immer zureichend, wenn ganz geringe Mengen von Elektrizität bemerkt werden sollen. In diesem Falle muss man sie erst in einem kleinern Körper anhäufen, um ihre Wirkung sichtbar zu machen. Hiezu dient der Condensator, Fig. 517. Man nimmt zwei kreisförmige Platten *aa* und *bb* von Messing oder von vergoldetem Spiegelglase, welche auf den Flächen, mit denen sie sich berühren, stark gefirnisst sind. Die obere Platte *a* heisst der *Deckel* oder *Collector*, die untere *b*, die *Basis* oder *Condensatorplatte*. Letztere ist mit einem zur Seite angebrachten Metallknöpfchen *c* durch einen Draht verbunden. Beide Platten sind mit gläsernen Handgriffen *m* und *n* versehen. Da der Firniss die Elektrizität nicht leitet, so kann man dem Deckel durch Berührung mit dem Körper, dessen Elektrizität zu untersuchen ist, eine geringe Menge Elektrizität mittheilen, ohne dass diese zu der Basis übergeht. Berührt man während dieser Zeit das Knöpfchen *c* mit dem Finger, und ist die dem Deckel mitgetheilte Elektrizität positiv, so wird durch die Influenz die positive Elektrizität der Basis zurückgestossen und negative herbeigezogen. Wäre aber der Collector frei in der Luft schwebend, so würde sich die positive Elektrizität auf seinen beiden Seiten gleich verbreiten und an den Rändern die grösste Dichte haben. Aus dem zu unter-

Fig. 517.

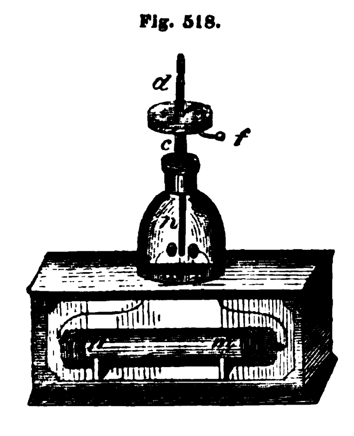


suchenden Körper würde er darum nur so lange Elektrizität aufnehmen, bis die Dichte der letztern an dem Berührungspunkt eben so gross wäre, als die an dem Körper. Liegt dagegen der Collector auf der Basis, so wird durch die negative Elektrizität der Basis die positive des Collectors nach der untern Fläche desselben gezogen. Die Dichte der positiven Elektrizität auf der obern Fläche wird also geringer, und darum kann der Collector aus dem Körper wieder neues Plus aufnehmen. Auch von diesem häuft sich ein Theil auf der untern Fläche an, bis endlich die Dichte der Elektrizität auf der obern Fläche der des Körpers gleich ist. Je mehr positive Elektrizität aber in dem Collector angehäuft ist, desto mehr negative Elektrizität muss die Basis durch die Influenz erhalten. Ihre Dichte ist natürlich auf der obern Fläche der Basis am grössten, weil sie da der positiven am nächsten ist. Hebt man nun an dem Glasstab *m* den Deckel rasch und in vertikaler Richtung ab, so hört die anziehende Wirkung des Minus in der Basis auf das Plus im Deckel auf. Die positive Elektrizität des Deckels verbreitet sich wieder auf beiden Seiten desselben, und hat darum nun eine grössere Dichte, besonders an dem Rand, als sie in dem elektrischen Körper hatte, mit dem man den Deckel berührt hat. Der Collector gibt darum nun an einem Elektroscop Zeichen positiver Elektrizität, wo jener Körper keine gab, weil auf ihm ihre Dichte zu gering war.

Hierauf beruht, wie *Riess* bewiesen hat, die Wirkung des Condensators, die man sonst dadurch zu erklären suchte, dass man sagte, das Plus des Deckels und das Minus der Basis binden sich in der Nähe und werden nach der Entfernung der beiden Platten wieder frei. Viel trägt nach ihm ihre flache Gestalt zur Verminderung des Elektrizitätsverlustes bei. Grössere Condensatorplatten haben mehr Wirkung als kleine, sind aber schwerer eben zu machen.

Man kann die Basis des Condensators auch unmittelbar an dem *Volta*'schen oder *Bennet*'schen Elektroscop statt des Knopfes anbringen. Das vollkommenste Instrument dieser Art ist aber das *Elektrometer* von *Bohnenberger*, vereinfacht von *Fechner*, Fig. 518. In einer Glasglocke *n* hängt zwischen den zwei kreisförmigen Metallplättchen ein Streifchen Blattgold, welches mit der Basis *c* eines Condensators in leitender Verbindung steht. Diese Metallscheibchen stehen durch Drähte mit den Enden einer *Zambonischen* Säule *pm* in leitender Verbindung. Aus Ursachen, die später vorkommen werden, ist das Ende der Säule *p* immer positiv-, das von *m* negativ-elektrisch. Gleichartig mit diesen sind also auch die Elektrizitäten der beiden Scheibchen. Berührt man nun den Deckel *d* mit dem Finger, während man durch die ungefirnisste Kugel *f* der Basis die Elektrizität des zu untersuchenden Körpers mittheilt, so häuft sich in dieser eine gewisse Menge der einen, und in dem Deckel eine entsprechende Menge der entgegengesetzten Elektrizität an. Entfernt man hierauf

Fig. 518.



den Collector, so treten beide Elektrizitäten mit grösserer Dichte auf, und das Goldblättchen, welches die Elektrizität der Basis hat, bewegt sich, wenn es positiv-elektrisch ist, nach dem Metallscheibchen auf der Seite von *m*, und wenn es negativ ist, nach dem andern *p*.

Um den Nutzen des Condensators recht auffallend zu zeigen, bringe man das eine Ende einer recht schwachen und kleinen Zamboni'schen Säule in Berührung mit *f*, während der Deckel entfernt ist. Das Goldblättchen wird sich dann weder rechts, noch links bewegen. Setzt man aber nun den Deckel auf die Basis, und berührt man den erstern auf seiner obern Fläche, so vermindert sich die Dichte der Elektrizität in dem Stiel *f*, weil eine andere Vertheilung erfolgt, indem sich die Elektrizitäten von Basis und Deckel gegenseitig anziehen. Der Knopf *f* nimmt darum noch mehr Elektrizität aus dem daran gebrachten Körper auf. Entfernt man diesen endlich und hebt man den Deckel ab, so wird die dem Knopf mitgetheilte Elektrizität der Basis auch dem Goldblättchen mitgetheilt, und dieses darum von dem einen oder anderen Ende der Säule *pm* angezogen.

Wenn der Deckel bei der ersten Berührung mit dem elektrischen Körper die Elektrizitätsmenge $+ e$ erhält, so zieht diese in der Basis je nach der Entfernung beider Platten z. B. nur $- \frac{9}{10} e$ an. Diese $- \frac{9}{10} e$ ziehen alsdann $\frac{9}{10} \cdot \frac{9}{10} e$ des Deckels an und binden sie. Im Deckel sind daher nur $\frac{19}{100}$ von e noch frei. Die Ladung des Deckels ist vollständig, wenn die Dichte der freien Elektrizität oder $\frac{19}{100} e$ der Elektrizitätsdichte des Körpers gleich ist. Da die Menge der gebundenen Elektrizität gleich $\frac{81}{100}$, so ist sie $\frac{81}{19}$ mal dichter als die des Körpers.

§. 421.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Elektrizität fortgepflanzt wird, schien nach *Wheatstone's* Versuchen die des Lichtes noch zu übertreffen. Zugleich machte er die Entdeckung, dass das Licht der Elektrizität von grosser Dichte, eine Dauer von weniger als einer *Millionstel Secunde* hat. Da man nun bei solchem Lichte vollkommen deutlich sieht, so müssen Gegenstände, wie z. B. eine schwingende Saite oder ein schnell sich drehendes Rad oder ein Farbenkreisel still zu stehen scheinen, wenn sie im Dunkeln durch Entladung einer Leidnerflasche sichtbar gemacht werden, und man erkennt daher an der Saite die Krümmung und an dem Rade die Zahl der Speichen. *Kirchhoff* hat aus gewissen, später zu erklärenden Messungen, welche bei constanten elektrischen Strömen stattfinden, theoretisch geschlossen, dass die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes in einem Draht, worin er keinen Widerstand findet, gleich ist 41950 Meilen, also nahezu der des Lichtes im leeren Raume. Nach *Walker* wäre die Geschwindigkeit der Elektrizität im Eisendraht nur 4000 Meilen, nach *Fizeau* und *Gounelle* 13500 Meilen im Eisendraht und 24300 im Kupferdraht. Diese Messungen sind aber mit Telegraphendrähten angestellt worden, welche in den umgebenden Mitteln entgegengesetzte Elektrizität induciren. Dadurch entsteht ein Widerstand, der die Geschwindigkeit des Stromes vermindert. Diese Geschwindigkeit ist darum geringer, wenn der Leitungsdraht im Wasser, als wenn er in der Erde liegt. Doch scheint auch die Natur des Leiters Einfluss auf die Geschwindigkeit zu haben; die Dicke des Drahtes und die Spannung dagegen nicht.

§. 422.

Es gibt wahrscheinlich keine Veränderung in den Körpern, durch welche nicht eine Störung in dem elektrischen Gleichgewichte derselben erzeugt wird; doch lassen sich die Ursachen auf folgende zehn zurückführen: 1) Reibung, 2) die vertheilende Kraft der Elektrizität, 3) Berührung, 4) chemische und organische Prozesse, 5) atmosphärischer Prozess, 6) Wärme und Kälte, 7) Haarröhrchen-Anziehung, 8) Druck und Spaltung, 9) elektrische Ströme und 10) Magnetismus.

Faraday hat durch zahlreiche Versuche bewiesen, dass die Elektrizitäten verschiedenen Ursprunges ihrer Natur nach völlig einerlei sind, und dass der grosse Unterschied in den Erscheinungen, welche durch sie hervorgebracht werden, nur daraus entspringt, dass durch die eine Quelle zuweilen viel Elektrizität von geringer Dichte, durch die andere Quelle wenig Elektrizität von grosser Dichte erzeugt wird.

B. Elektrizität durch Reibung.

§. 423.

Wenn man zwei Körper, sie mögen Leiter oder Nichtleiter sein, an einander reibt, so findet man durch ein Elektroscop, dass immer der eine positiv-, der andere negativ-elektrisch wird. Als Ursache dieser Störung des elektrischen Gleichgewichtes kann man die durch das Reiben bewirkte Störung in dem Gleichgewichte ihrer Massentheilchen ansehen. Die Menge der dadurch entwickelten Elektrizität wird durch Druck- und Temperatur-Erhöhung des einen Körpers vermehrt. Soll ein Leiter durch Reiben elektrisch werden, so muss man ihn natürlich während des Versuches isoliren.

Die Elektrizitäts-Entwicklung zeigt sich sogar bei der Reibung von Wassertheilchen an festen Körpern. *Armstrong* hat diess entdeckt, indem er bemerkte, dass beim Ausströmen des Dampfes aus Dampfkesseln der Kessel negativ, und eine in den Dampf gehaltene isolirte Metallkugel positiv elektrisch wird. *Faraday* zeigte, dass nicht die Aggregats-Veränderung des Dampfes, sondern die Reibung der Wassertheilchen, Ursache dieser Erscheinung ist. Mit Hilfe eines Papinischen Topfes, der mit einer passenden Ausströmungsmündung versehen ist, kann man diess im Kleinen nachweisen; noch besser aber mit der etwas später beschriebenen Hydroelektrisirmaschine.

Seide, Papier und Wolle gegen ein Thierfell gerieben, werden immer negativ-, und das Fell positiv-elektrisch. Sehr elektrisch wird Collodium in dünnen, dem Papier gleichen Blättern. Zieht man einen dünnen Streifen von Gutta percha durch die Finger, so ist er negativ-elektrisch. Ein Glasstab, den man mehrmals durch eine Weingeistflamme gezogen hat, wird nachher durch Reiben mit einem Tuch nicht positiv, sondern negativ. Eine matte Glastafel wird, auf einer glatten gerieben, negativ. Von zwei weissen seidenen Bändern, welche kreuzweise über einander liegen, wird das der Länge nach geriebene positiv, das andere negativ, und ein seidenes Tuch wird schon durch blosses Schwingen in der Luft negativ-elektrisch. Aus diesen Versuchen scheint zu folgen, dass immer der durch's Reiben am meisten erwärmte Körper negativ werde; doch hat auf die Art der Elektrizität nach andern Versuchen nicht bloss die Wärme, sondern auch die gegenseitige Lage der Massentheilchen Einfluss. Ein Harzkuchen wird, durch Metall gerieben, positiv, durch

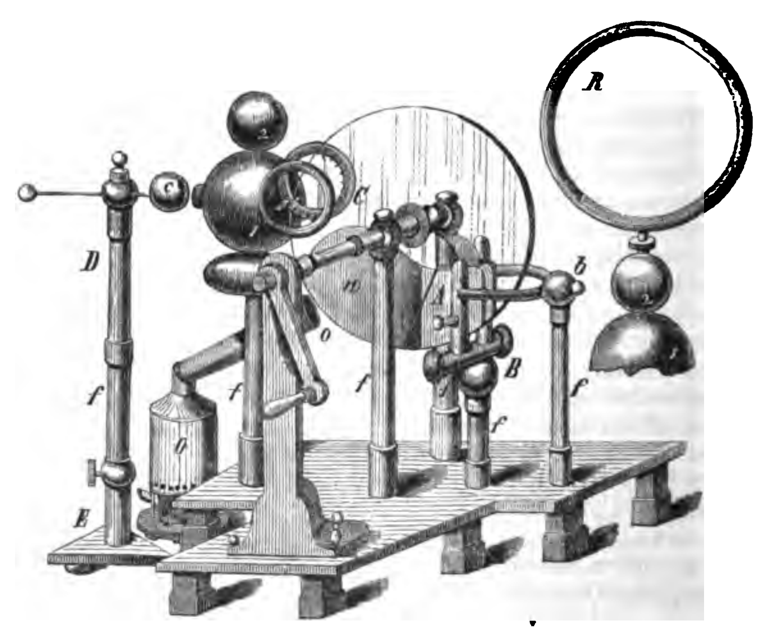
Elfenbein negativ. Auch auf den Zustand der Oberflächen kommt Vieles an; so wird z. B. der *Disthen* auf gewissen Seiten seiner Oberfläche gerieben, positiv-, auf der andern negativ-elektrisch. Dass eine sehr geringe Reibung hinreicht, zeigt sich, wenn man Schwefelblumen auf den Collector des Elektroscopes siebt. Neigt man ferner ein Metallblech gegen den Collector des *Bohnenberger*'schen Elektrometers, auf den es sich stützt, und siebt man Feilspähne von demselben Metalle darauf, so zeigt sich die Platte positiv-elektrisch. Nach *Cavallo* wird in folgender Reihe jeder Körper, mit einem später stehenden gerieben, positiv-elektrisch, der andere negativ: Katzenfell, polirtes Glas, Wollenzeug, Federn, Holz, Papier, Seide, Schellack, mattes Glas.

§. 424.

Um durch's Reiben eine grössere Menge von Elektrizität zu erhalten, bedient man sich der *Elektrisirmaschinen*. Die gewöhnlichen Elektrisirmaschinen bestehen alle aus dem geriebenen Körper, welcher von Glas, Harz, Seidenzeug oder einem andern *Nichtleiter* sein kann, dem *Reibzeuge* und dem isolirten *Conductor*. Die Elektrizität des Glases stösst die gleichnamige Elektrizität des Conductors zurück, und zieht die negative desselben herbei. Dadurch wird die Oberfläche des Conductors positiv, und die des Glases ganz oder zum Theil neutralisirt. Man gibt dem Nichtleiter bald die Gestalt einer Kugel oder Scheibe, bald die eines Cylinders. *Otto von Guericke* verfertigte die erste Elektrisirmaschine. Die in Fig. 519 abgebildete Maschine von *Winter* in Wien zeichnet sich in ihren Wirkungen besonders durch die Länge der



Fig. 519.



Funken aus. Die geschliffene Glasscheibe $A\,C$ wird mittelst einer Kurbel gedreht, die durch einen Glasstab mit der hölzernen Achse verbunden ist. $fffff$ sind Glasfüsse zur Unterstützung und Isolirung des Fun-

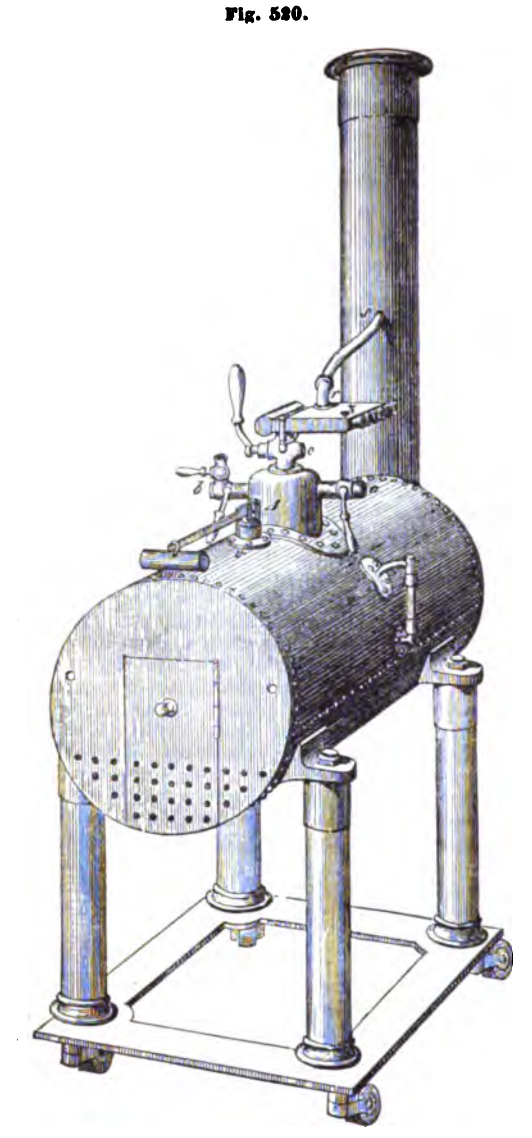
kenziehers *D*, des positiven Conductors 1, 2, der Achse der Scheibe, des Reibzeugs *BA* und des negativen Conductors *b*. Die Conductoren sind von Messing; eben so die Kugel *c* des Funkenziehers *D*. Diese kann dem positiven Conductor beliebig genähert werden. Die Zuleiter dieses Conductors sind Ringe von gefirnisstem hartem Holz mit Spitzen, die nicht über das Holz hervorragen, sondern in einer vertieften Furche stehen. Das gabelförmige Reibzeug *A*, welches durch Federn an die Scheibe angedrückt wird, ist gleichfalls von Holz, und auf einem kugelförmigen polirten Holz *B* befestigt. *w* ist ein Stück Wachstaffet, welches auf beiden Seiten der Glasscheibe liegt, und an das Reibzeug befestigt ist. Ein kleiner Blechofen *O* mit Rohr dient zum Erwärmen und Trocknen der Maschine. Um sehr grosse Funken zu erhalten, wird der Holzring *R*, der einen Draht einschliesst, auf den Conductor 1 2 gesteckt. Besser ist es, wenn er unten noch einen hölzernen Stiel von 1 bis 2 Fuss Länge hat. Ring und Stiel sind von hartem Holz, glatt und gefirnisst. Eine Scheibe von 15″ Durchmesser gibt ohne diesen Stiel Funken von 1½″, mit ihm von 12″.

Die Reibkissen werden am besten mit dem Amalgama von *Kienmaier*, bestehend aus 2 Theilen Quecksilber, 1 Zink und 1 Zinn, bestrichen. An der Maschine müssen alle scharfen Ränder und Spitzen sorgfältig vermieden werden, weil diese die Elektrizität ausströmen. Bei anhaltenden Versuchen setzt man das Reibzeug durch eine Kette mit der Erde in Verbindung, um aus dieser Elektrizität herbeizuleiten. Die Versuche gelingen am besten während des Winters in geheizten Zimmern. Bei feuchtem Wetter geben nach *Münch* auch gewöhnliche Elektrisirmaschinen eine gute Wirkung, wenn man mit einem Unschlittlicht einen starken Fettstrich von der Mitte der Scheibe bis an den Rand auf beiden Seiten derselben zieht. Nach *Peclet's* Versuchen haben ausserdem auf die Erregung der Elektrizität der geriebenen Glasscheibe folgende Umstände einen wesentlichen Einfluss: 1) die Dauer der Umdrehungen, indem in der ersten Minute die Elektrizitäts-Entwicklung viel schwächer ist als nachher. Nach 6 bis 7 Minuten hört diese Zunahme auf, und hat also ihr Maximum erreicht. 2) Die vollkommene Berührung des Glases und der Reibzeuge befördert die Entwicklung der Elektrizität; sie wird dagegen durch den Druck, wenn die Berührung schon vollkommen ist, nicht vermehrt. Eben so wenig durch die Breite, wohl aber durch die Länge des Reibzeuges. 3) Wird das Glas um so stärker elektrisirt, je grösser der Krümmungs-Halbmesser der reibenden Fläche an der Gränze der Berührung ist. 4) Wenn beide Seiten einer Scheibenmaschine gerieben werden, so gibt das dünnere Glas den stärkeren Effekt. 5) Je schneller gedreht wird, desto mehr Elektrizität erhält man.

§. 425.

Auf die in §. 423 angeführte Elektrizitäts-Entwicklung durch Reibung des Wassers mittelst Dampfdruck, gründet sich die Hydroëlektrisirmaschine, Fig. 520. Sie besteht aus einem Dampfkessel, der auf Glassäulen ruht, und von innen geheizt wird, nachdem er bis über zwei Drittheile seiner Höhe mit Wasser gefüllt ist. Die Löcher an dem Thürchen, welches zum Nachlegen von Holz oder Kohlen dient, führen die zum Verbrennen nothwendige Luft in den Feuerraum, von wo sie mit Rauch vermischt, in das blecherne Kamin, und von da in einen beweglichen Rauchfang entweicht, der sie in's Freie leitet. Ehe Versuche gemacht werden, wird dieser Rauchfang auf das Kamin herabgelassen, damit kein Rauch in das Zimmer kommt, nachher aber, der Isolirung wegen, in die Höhe gezogen. Auf dem Dampfkessel ist ein eiserner Hut *A* befestigt, an welchem zwei horizontale Hähne *a* und *b* und ein vertikaler Hahn *c* angebracht sind, wie Fig. 521 deutlicher zeigt, wo der

Fig. 520.



Kessel im Durchschnitt gezeichnet ist. Das Sicherheits-Ventil *v* vor dem Hut wird bei Versuchen bis zu einem Druck von 6 Atmosphären belastet. An die Hahnen *a* und *b* können gusseiserne Röhren von 60 Centimeter Länge angeschraubt werden, deren Anfang und Ende in Fig. 522 in halber Grösse abgebildet ist. Durch die Mündung *s* strömt der Dampf aus. Diese befindet sich in dem messingenen Kopf *qq*, der an das Metallstück *p* geschraubt ist. Letzteres ist mit einer Mutter versehen und auf die Röhre festgelöthet. In den Kopf ist ein hohler Cylinder *nnm* von Messing geschraubt, welcher bei *m* massiv und so eingeschnitten ist, dass der Dampf erst durch einen schmalen Sägenschnitt und dann durch ein enges Loch *o* gehen muss, ehe er in einen durchbohrten Cylinder von hartem Holz *xx* und von da nach *s* gelangt. Sobald nun der Dampf die gehörige Spannung hat, öffnet man den Hahn *a* oder *b*, Fig. 520, an welchen die Röhre geschraubt ist, und indem an ihren innern Wänden ein Theil des Dampfes verdichtet wird, treibt der nachfolgende Dampf die Wassertheilchen durch den Sägenschnitt in das Holzröhrchen, und reibt sie heftig an den Wänden desselben. Dadurch wird der Kessel negativ-, der Wasserdampf aber positiv-elektrisch. Lässt man darum den Dampf gegen ein mit Spitzen versehenes Drahtgitter strömen, welches an einem isolirten Conductor befestigt ist, so gibt letzterer Funken positiver Elektrizität ab. Um jedoch beide Elektrizitäten vollständig zu trennen, muss entweder der Kessel oder der Conductor mit der Erde leitend verbunden sein. Die grösste Wirkung erhält man, wenn bloss der Kessel möglichst gut isolirt ist. Um die Wirkung dieser Elektrisirmaschine zu erhöhen,

Fig. 521.

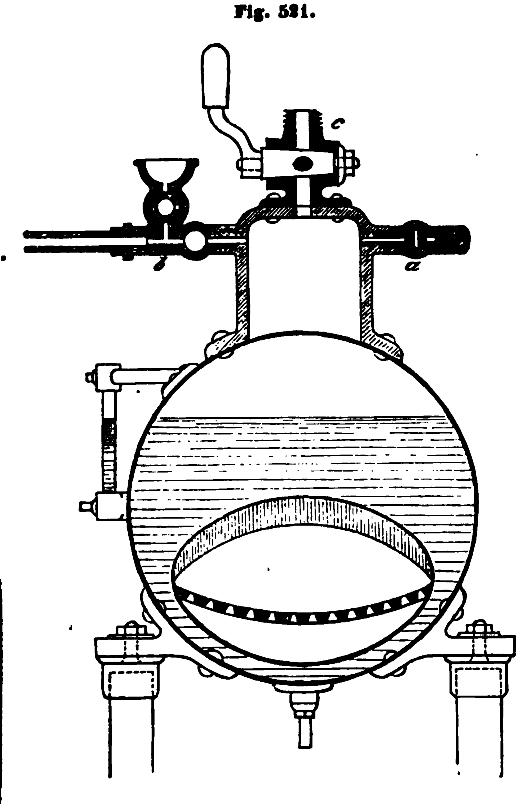
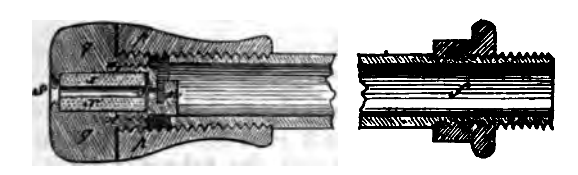


Fig. 522.



muss man die Zahl der Ausströmungsmündungen vermehren. Dieses geschieht durch den (Fig. 520) auf den Hahn *c* geschraubten Apparat, in welchem sich sechs kurze Röhren befinden, die mit den oben beschriebenen Ausmündungsröhren versehen sind. Diese Röhren sind in ein Metallgefäss eingeschlossen, welches mit Wasser gefüllt ist, damit in ihnen ein Theil des Dampfes verdichtet wird. Die Dämpfe, die sich aus diesem Verdichtungswasser entwickeln, werden durch die Messingröhre *rs* in das Kamin geleitet. Ein zur Seite angebrachtes krummgebogenes Glasrohr gibt die Höhe des Wasserstandes in diesem Verdichtungsapparat an. Sobald dieser merklich abgenommen hat, wird durch die in den oberen Theil desselben befindliche Oeffnung *z* Wasser nachgegossen. Mit dieser Vorrichtung gibt der obige Apparat, dessen Kessel 44 Centimeter Durchmesser und 96 Centimeter Länge hat, zehnmal so viel Elektrizität, als in gleicher Zeit eine hier befindliche gewöhnliche Elektrisirmaschine, deren Scheibe 71 Centim. im Durchmesser hat. Die Schlagweite ist aber nicht grösser, weil durch die grosse und unebene Oberfläche des Apparates, so wie durch das Kamin viel Elektrizität verloren geht, wenn die Spannung stärker ist. Daher zeigt die Hydroëlektrisirmaschine auch ihre grösste Kraft, wenn sie zur Erzeugung eines Stromes oder zu Versuchen benutzt wird, wie sie später bei der Kleistischen Flasche vorkommen werden.

Um zu zeigen, dass die Elektrizität des Dampfkessels nur durch Reibung der Flüssigkeits-Theilchen entsteht, kann man folgende Versuche anstellen: 1) Wenn man nur *eine* Ausströmungsröhre anwendet und diese stark erhitzt, so dass sich kein Dampf darin verdichten kann so erhält man beim Ausströmen desselben auch keine Elektrizität. 2) Alle Substanzen, die das Wasser leitend machen, wie Salze, Säuren

und Alkalien, schwächen die Wirkung, weil sie eine bessere Leitung zwischen dem reibenden Körper und dem geriebenen herstellen. 3) Holzröhren, die man mit Terpentinöl, Baumöl u. dgl. getränkt hat, sind anfangs wirkungslos. Bringt man aber in das Gefäss über dem Hahn *b*, Fig. 521, eine dieser Flüssigkeiten, und lässt man durch Drehung des obern Hahns von Zeit zu Zeit etwas davon in die Ausströmungsröhre gelangen, so wird der Kessel *positiv* und der Dampf *negativ*, weil die Reibung von Terpentinöl an Holz die entgegengesetzte Wirkung von Wasser hat. 4) Ein Ring von Hanf, der mit Wachs oder alkoholischer Harzlösung getränkt und an die Stelle des kleinen Holzröhrchens gebracht ist, gibt beim Ausströmen des Dampfes dieselbe Wirkung. 5) Elfenbeinröhrchen statt der hölzernen haben fast gar keine Wirkung; hält man aber dabei eine Schellackstange in den neutralen Dampf, so wird sie negativ, als wäre sie mit Flanell gerieben. Ebenso Metalle, Haare, Glas u. s. w.

Ein kolossaler Apparat obiger Art befindet sich in dem polytechnischen Institut zu London. Er ist $6^1/_2$ Fuss lang, hat $3^1/_2$ Fuss Durchmesser und 46 Ausströmungsmündungen und gibt zuweilen Funken von 22 Zoll Länge. Seine grösste Wirkung, welche die der besten Elektrisirmaschine vielmal übertrifft, zeigt er gleichfalls bei geringer Spannung oder da, wo die Elektrizität als Strom entweicht.

Um starke Wirkungen zu erhalten, muss das Wasser im Dampfkessel möglichst rein sein, und die Kanäle und Schrauben dürfen kein Oel oder Fett enthalten. Die Holzcylinder müssen vorher gut mit destillirtem Wasser durchzogen sein, und der Apparat, welcher die Elektrizität der Dämpfe aufnimmt, darf weder zu nahe, noch zu ferne stehen. Man kann auch ein Locomotiv oder einen feststehenden Dampfkessel zu obigen Versuchen benutzen; indem man den Ausströmungsapparat an einem Hahn befestigt und die Dämpfe gegen einen Seitenapparat strömen lässt, der mit einem isolirten Conductor verbunden ist.

§. 426.

Mit Hilfe der Elektrisirmaschine kann man folgende Versuche über die Wirkung der Elektrizität anstellen:

a) *Mechanische Wirkungen:*

Eine an einem Seidenfaden hängende Kugel wird zwischen dem Conductor und dem Reibzeuge hin- und herbewegt.

Der Zeiger des *Henley*'schen Quadranten steigt bei fortgesetzter Drehung der Scheibe höher, und nimmt endlich eine feste Stellung an. Es wächst nämlich die Menge der Elektrizität mit der Schnelligkeit der Drehung; alsdann tritt ein Moment ein, in welchem das Isolirungsvermögen des Glases zwischen Conductor und Reibzeug überwunden wird und wo sich also ein Theil der entgegengesetzten Elektrizitäten mit einander verbindet. Die höchste Spannung ist darum immer unabhängig von der Geschwindigkeit des Drehens.

Durch einen oder mehrere grosse cylindrische Conductoren von Kupfer oder Weissblech, die man an seidenen Schnüren aufhängt und mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung setzt, kann man die Menge der angesammelten Elektrizität, nicht ihre Spannung vermehren. Der Entladungsfunke ist alsdann lebhafter und bringt ein stärkeres Geräusch hervor.

Eine Flaumfeder in Verbindung mit dem Conductor schwillt an; die Haare eines Menschen, der auf einem Schemel mit Glasfüssen steht,

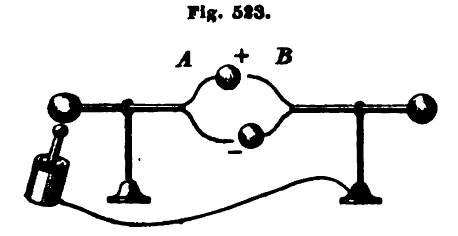
sträuben sich empor; Wasser, welches durch eine enge Röhre fliesst, wird in einen feinen Regen verbreitet.

Nähert man nach *A. Fuchs* eine geriebene Glasröhre dem sehr feinen Strahl eines kleinen Springbrunnens, von dem die Tröpfchen getrennt herabfallen, von Weitem, so wird der Strahl continuirlich. Bringt man sie aber sehr nahe, so zerstreut sich das Wasser in sehr feinen Tröpfchen. Im ersten Fall werden die getrennten Moleküle des Wassers durch Vertheilung elektrisch und ziehen sich mit den entgegengesetzt elektrischen Theilen an; im zweiten Fall wird ihnen Elektrizität mitgetheilt, also stossen sie sich ab. Gummiwasser, brauner Syrup, heisses Siegellack u. dgl. werden zu feinen Fäden ausgesponnen. Ein Tropfen Gummiwasser wird zu einem Kegel ausgezogen, der grösser wird am negativen als am positiven Conductor. Der Rauch eines ausgeblasenen Lichtes wird theils von dem Conductor angezogen, theils abgestossen. Hieher gehört auch der *Korkkugeltanz*, der *Puppentanz*, das *elektrische Glockenspiel*, der *elektrische Regen* und viele andere Spielereien.

Wenn man eine Drahtspitze an dem Conductor befestigt, so verliert er seine Elektrizität. Durch ein Licht, welches man gegen die Spitze hält, kann man das Wehen des abgestossenen Luftstromes zeigen. Hierauf beruht auch das elektrische *Flugrad*. Indem nämlich an den feinen Spitzen eines Drahtes die Elektrizität viel dichter wird (vergl. §. 419), ist auch die Abstossung und Förderung gleichartiger Theilchen viel stärker.

Den Unterschied der mechanischen Wirkung von + und — *E* zeigt man durch die *Lichtenberg*'schen Figuren. Wenn man auf einen Harzkuchen eine Münze legt, und diese positiv-elektrisch macht, so erscheint, nachdem man sie weggeworfen hat, an der mit einer Mengung aus Schwefelblumen und Mennige bestreuten Stelle eine strahligte Figur; war die Elektrizität negativ, so erscheint ein strahlenloser Kreis. Dabei setzt sich der Schwefel an die positiv-elektrischen, die Mennige an die negativen Stellen des Harzkuchens. Im luftleeren Raum erhält man keine dieser Figuren. *Riess* nimmt darum an, dass durch die positiven Funken der successiven Entladung die Luft und der Wasserdampf gegen die Harzplatte unter Reibung getrieben werden. Dadurch wird diese negativ, und begünstigt die Ausbreitung der nachfolgenden positiven Elektrizität oder das Entstehen der strahligten Figur. Ist aber die Elektrizität negativ, so wird ihre Ausbreitung durch die negative Elektrizität des Harzkuchens verhindert. Am schönsten werden diese Figuren, wenn man nach *Böttger* weisse Siegellackscheibchen anwendet, die man mit einer Mischung aus Ultramarin und Zinnober bestreut. Einen andern Unterschied haben *Faraday* und *Belli* gefunden. Theilt man dem isolirten Conductor *A*, Fig. 523, positive Elektrizität durch eine Elektrisirmaschine oder eine Leidener Flasche mit, so springt der Funke von der Kugel *A* auf die Spitze des nicht isolirten Conductors *B*. Ist aber die Elektrizität negativ, so springt er von der Spitze des Conductors *A* auf die Kugel von *B* über. Der

Fig. 523.



Abstand der beiden Conductoren darf jedoch nicht mehr als 1 Millimeter betragen.

Verbindet man zwei mit destillirtem Wasser gefüllte Gläser durch einen nassen Seidenfaden mit einander, und setzt man das eine Glas durch einen Draht mit dem Dampfkessel einer mächtigen Hydroëlektrisirmaschine, das andere mit dem positiven Conductor in Verbindung, so steigt das Wasser in dem ersten Glase. Wird dieser Seidenfaden allmählig in eines der beiden einander sehr nahestehenden Gläser hinabgezogen, so entsteht zwischen ihnen eine kleine Wassersäule. Es strömt in dem Innern derselben Wasser vom negativen zum positiven Glase, und auf der Oberfläche vom positiven zum negativen Glase. Beide Ströme scheinen gleich zu sein, sobald der innere nicht durch Reibung an dem Faden verzögert wird.

b) *Lichterscheinungen:*

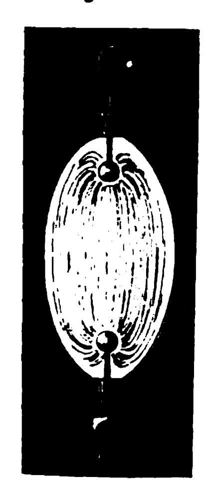
Wenn man dem Conductor eine Metallkugel nähert, so springt in einer gewissen Entfernung, die man die *Schlagweite* nennt, ein elektrischer Funke auf sie über. Die Schlagweite ist bei derselben Dichte der Luft um so grösser, je dichter die Elektrizität des Conductors ist. Desshalb hält man, um lange Funken zu erzeugen, die ableitende grosse Kugel oder einen parabolischen Hohlspiegel dem dünnen Ende des Conductors gegenüber. Wenn die Schlagweite eine bestimmte Grösse erreicht hat, die nach der Form des Conductors und des gegenübergestellten Leiters, dem Zustande der Luft, der isolirenden Glassäule u. s. w. verschieden ist, so ist jede grössere Ansammlung der Elektrizität unmöglich. Nach *Harris* ist die Schlagweite im luftverdünnten Raume grösser als im lufterfüllten. Auch richtet sich diese Weite nicht nach dem Druck, sondern nach der Dichte der Luft; denn in erhitzter Luft von *gleicher* Dichte, also viel grösserem Druck, ist sie dieselbe. Nach *Riess* tritt nur die discontinuirliche Entladung um so leichter ein, je dünner die Luft ist; für continuirliche Entladung aber ist dichtere Luft leitender als dünne. Durch Mischung mit andern Gasen oder Dämpfen wird sie noch besser leitend. Die gebrochene Linie, welche ein langer Funke bildet, ist noch nicht erklärt. Die Schlagweite ist auch von verschiedener Grösse in verschiedenen Gasen. Das Reibzeug und der Conductor, besonders da, wo er in kleinern Kugeln endigt, oder ihm ein leitender Körper gegenüber gehalten wird, leuchten oder glimmen im Dunkeln. Diess ist die Folge einer ununterbrochenen Entladung derselben durch die Luft. Die Büschel und Funken dagegen, welche man erhält, indem ein dicker Draht mit abgerundetem Ende an dem Conductor befestigt wird, entstehen durch schnell auf einander folgende Entladungen. Die dunkle Entladung besteht darin, dass sich in der Luft, besonders aber im Stickgas, ein dunkler Zwischenraum zwischen dem Büschel des Conductors und eines dagegen gehaltenen Leiters zeigt. *Faraday* bemerkte, dass im luftverdünnten Raum das Glimmen nur noch von dem negativen Ende zweier einander gegenüberstehender Drähte ausging, und dass sich von dem positiven Draht ein purpurfarbener Streif nach dem negativen zog, der aber stets durch einen dunklen Raum von dem glimmenden negativen Draht getrennt blieb. Die auffallende Erscheinung, dass bei gleichförmiger Wirkung einer Elektrisirmaschine das Ueberspringen von Funken in einer gewissen Entfernung des Entladers

rfolgt, in einer etwas grössern aber nicht und bei einer noch grössern rieder eintritt, wie bei den *elektrischen Pausen* von *Gross* und in andern 'ällen, lässt sich nach *Riess* meistens aus der Vertheilung der beiden Elektrizitäten an der Oberfläche der einander gegenüberstehenden Körper erklären.

Die Farbe des Funkens ändert sich mit dem Körper und dem)rucke des Gases, durch welches es geht. Nimmt man ein Stückchen Veidenholz, und steckt man zwei Drähte so hinein, dass der Funke wischen ihnen schief durch das Holz gehen muss, so zeigt er beim Jeberspringen oft alle prismatischen Farben zugleich. Leitet man einen lektrischen Funken mittelst zweier unterbrochenen Drähte durch einen ıpfel, ein Ei etc., so leuchten sie. In verschiedenen Gasen hat der 'unke eine andere Farbe, in der Luft und im Stickgas ist er blau und ıell, im Wasserstoff carmoisinroth und schwachleuchtend.

Im luftverdichteten Raume ist das Licht weiss und glänzend; im erdünnten röthlich oder violett und zeigt schöne Erscheinungen. Man efestigt unter der Glasglocke der Luftpumpe zwei Kugeln, die einander egenüberstehen, um das sogenannte Nordlicht (ein Glimmen) zu zeigen, der man bedient sich dazu des Apparats, Fig. 524. Das ellipsoidische Glasgefäss, auch das *elektrische Ei* genannt, kann durch Anschrauben an die Luftpumpe luftleer gemacht werden und zeigt beim Ueberschlagen der Funken von einem der metallischen Knöpfe zum andern, je nach dem Grad der Verdünnung, rothe oder violette Lichtbüschel. Das Licht der letztern Art enthält, wie ich gefunden habe, eine Menge unsichtbarer Strahlen. Alle fluorescirenden Körper (vergl. §. 253) werden darum in seiner Nähe hell und leuchtend. Lässt man das elektrische Licht der beiden Pole nach einander durch eine enge Spalte gehen und zerlegt man es durch ein Prisma, so erhält man nach *Dove* durchaus verschiedene Spectra des positiven und negativen Lichts.

Fig. 524.



Auch das Leuchten der Torizellischen Leere, wenn man ein Barometer im Dunkeln bewegt, ist eine Folge der Reibung. Ueber das Spectrum des elektrischen Funkens vergleiche §. 247.

Da der Funke jedesmal da erscheint, wo der elektrische Strom in einem Leiter unterbrochen wird, o kann man eine brillante Illumination hervorbringen, wenn man auf ine Glasröhre oder eine Glasplatte, in einer Reihe, kleine Rauten von Stanniol klebt, deren Spitzen sich beinahe berühren, und einen Funken lurchschlagen lässt. Wenn man auf einen grossen Conductor, von welhem ein langer dünner Draht nach einem andern Conductor führt, 'unken überschlagen lässt, so wird der Draht leuchtend mit senkrecht von ihm ausfahrenden Strahlen.

Der Lichtunterschied der positiven und negativen Elektrizität besteht darin, dass die erste durch eine Spitze ausströmend, einen Büschel zeigt, gegen welchen der Büschel im zweiten Falle sehr klein ist.

Wenn man eine 4 bis 6 Fuss lange und 2 bis 4 Zoll weite Glas-

röhre an den Enden durch Messingplatten verschliesst und mit einem Hahn versieht, um sie luftleer machen zu können, so erhält man einen für die Hervorbringung des elektrischen Lichtes im luftverdünnten Raume sehr geeigneten Apparat. Bringt man an beiden Enden der Röhre Spitzen in derselben an, so bemerkt man nach *Harris*, dass ein Lichtstrom durch die ganze Röhre geht, dessen Verästelung stets gegen die mit dem positiven Conductor verbundene Schlussplatte gerichtet ist.

Hält man dem negativen Reibzeuge eine Spitze gegenüber, so zeigt sich an dieser ein Büschel, der positiven gegenüber ein Stern oder kleiner Büschel, zum Beweise, dass stets wo negative Elektrizität entsteht, positive herbeigezogen wird, und umgekehrt, und dass also kein Einsaugen der Elektrizität durch Spitzen erfolgt, sondern nur eine Verbindung der entgegengesetzten Elektrizitäten mit einander.

Der elektrische Funke bringt auf polirten Flächen Wirkungen hervor, wie diejenigen, welche in §. 207 beschrieben sind. Da auch die Wärme ähnliche Erscheinungen erzeugt, so liegt der Grund derselben in einer allgemeinen Ursache. Wenn man nach *Karsten* eine Münze auf Spiegelglas legt, welches auf einer ableitenden Metallplatte ruht, und viele Funken aus dem Conductor darauf schlagen lässt, die zugleich von der Münze auf die Metallplatte gehen, so kommt beim Behauchen des Spiegelglases eine vollständige Abbildung der Münze, eine *Hauchfigur*, zum Vorschein. Eben so ist es, wenn man die Münze auf polirtes Metall legt und ein dünnes Glimmerblatt dazwischen bringt. Ist die Münze positiv-elektrisch, so erscheint nachher im Joddampf gleichsam ein vertieftes Bild, und ist sie negativ, ein erhabenes.

Diese Bilder, wie die Hauchbilder, entstehen durch das Losreissen von an der Oberfläche verdichteten Gasschichten an den Stellen, an welchen die meiste Elektrizität überging. Die *Pristley*'schen Ringe zeigen sich, wenn man von einer Spitze auf eine polirte Metallplatte oder umgekehrt positive Funken überschlagen lässt.

c) *Wärme-Erregung.*

Wenn man in der Kugel eines Luftthermometers einen dünnen Draht so anbringt, dass ein elektrischer Funke hindurch geleitet werden kann, so erfolgt eine Ausdehnung der Luft in dem Augenblick, wo die Elektrizität durch den Draht geht.

Die Wärme, welche ein überspringender Funke erzeugt, zündet Schwefeläther, Phosphor und Harzstaub an, welche man dem Conductor in einer metallenen Schale nähert. Hierauf beruht das Donnerhaus. Knallgas wird durch den überspringenden Funken entzündet, hierauf beruhen die Luftpistole, das *Volta*'sche Eudiometer und die ältern Zündmaschinen.

d) *Physiologische Wirkungen.*

Wenn der Funke auf einen Theil des Körpers überspringt, oder einer isolirten elektrisirten Person entzogen wird, so übt er einen stechenden Schmerz oder Stoss aus. Das knisternde eigenthümliche Geräusch der Elektrizität ist bekannt. Auf der Zunge erregt die Elektrizität einen eigenthümlichen Geschmack, wenn man sie durch eine Spitze dagegen strömen lässt. Es verbreitet sich von dieser Spitze ein charakteristischer Geruch, ähnlich dem von schwefligter Säure oder Phosphor, welchen *Schönbein* zuerst einer eigenthümlichen Substanz zuschrieb, die

er *Ozon* nannte. In der Folge zeigte er, dass das *Ozon* nur beim Vorhandensein von Sauerstoff auftritt. Ein kleiner Theil desselben, höchstens ein Zwölftheil, erleidet nämlich durch die Elektrizität eine Veränderung und befindet sich dann in einem allotropen Zustand (vgl. §. 43), in welchem das Oxydations-Vermögen des Sauerstoffes sehr erhöht ist. Nähert man dem Conductor einer Elektrisirmaschine ein mit Jodkalium-Kleister befeuchtetes Papier, so färbt sich dieses blau, weil sich das Jod mit der Stärke verbindet, welcher Art auch die Elektrizität sein mag; ein Beweis, dass unter der Einwirkung des Ozons chemische Verbindungen und Trennungen wie bei andern Gasen erfolgen. *Schönbein* hat das Ozon auch ohne Elektrizität hervorgebracht, indem er trockenen Phosphor in einer Flasche aufhing, die Luft und etwas Wasser enthielt. Der im Anfang sich bildende Phosphordampf verschwindet bald, und man riecht das Ozon allein. Das Wasser der Flasche aber enthält gleichfalls Sauerstoff, aber in einem von dem Ozon und dem gewöhnlichen Sauerstoff verschiedenen Zustand. Den Phosphor muss man daraus entfernen, sobald ein Jodkaliumpapier beim Eintauchen schnell blau wird, weil sich der Phosphor im Ozon entzündet und Explosionen veranlasst. Nach heftigen Gewittern riecht oft die Luft und selbst das Regenwasser nach Ozon, und Papierstreifen mit Jodkaliumkleister färben sich im Freien um so tiefer blau, je mehr Ozon die Luft enthält.

e) *Chemische Wirkungen.*

Diese sind entweder verbindend oder trennend. Wenn z. B. zwei Gase in dem Verhältniss gemischt sind, in welchem sie sich verbinden, wie 1 Maas Sauerstoff und 2 Maas Wasserstoff, so reicht der kleinste Funke hin, um diese Verbindung zu bewirken. Beim Durchschlagen vieler Funken durch die atmosphärische Luft hat *Pristley* durch die Verbindung von Sauerstoff und Stickstoff Salpetersäure erhalten. Beispiele von trennender chemischer Wirkung sind die Zersetzung von Ammoniakgas, Kohlenwasserstoffgas und Kohlensäure.

Wenn man ein mit Jodkalium befeuchtetes Papier auf eine mit der Erde leitend verbundene Metallplatte legt, einen stumpfen Platindraht darauf setzt, und durch diesen einen elektrischen Funken leitet, so entsteht ein brauner Fleck, wenn die Elektrizität positiv war, weil an dem positiven Draht das ausgeschiedene Jod sich mit der Stärke verbindet. Mit einem negativen Funken entsteht kein Fleck. Jodkalium-Papier, das mit Stärke getränkt ist, gegen eine Spitze des positiven Conductors gehalten, wird blau.

Verbindet man zwei sehr feine, in gläserne Haarröhrchen eingeschmolzene Platindrähte, deren kaum sichtbare Enden in einem mit Wasser gefüllten Glasrohr nur wenig von einander abstehen, mit dem Conductor und dem Reibzeug, so scheidet sich an dem Draht, der mit dem positiv-elektrischen Körper in Verbindung steht, Sauerstoff, an dem andern Wasserstoff aus. Am leichtesten gelingt dieser Versuch mit der Hydro-Elektrisirmaschine.

Nach *Faraday* kann man die chemische Wirkung der Elektrizität auch auf folgende Weise darthun: Man legt zwei Stücke Zinnfolie auf eine Glasplatte, und auf jedes derselben einen Platindraht, welcher darüber hinausragt, so dass ein Raum zwischen den beiden Drähten bleibt. Diesen Zwischenraum füllt man durch einen dicken Strich irgend eines

aufgelösten Neutralsalzes, z. B. Kupfervitriollösung, aus. Setzt man nun den einen Platindraht mit dem positiven Conductor, den andern mit dem negativen Reibzeug in Verbindung, so scheidet sich nach einigen Drehungen der Maschine am negativen Drahte metallisches Kupfer aus. Legt man auf dieselbe Art ein mit Glaubersalzlösung befeuchtetes Papierstreifchen auf die Glasplatte, und ist die eine Hälfte mit Curcuma gelb, die andere mit Lackmus blau gefärbt, so werden diese braun und roth.

C. Elektrizität durch Vertheilung.

§. 427.

Die anziehende Kraft der Elektrizität eines Conductors erstreckt sich auf jede Entfernung. Ebenso stört jede an einem Körper hervorgerufene Elektrizität das elektrische Gleichgewicht eines unelektrischen, beliebig gelegenen Körpers in der Art, wie es im §. 412 schon gezeigt wurde. Diess kann man noch durch nachstehenden Versuch beweisen.

Wenn man an einen isolirten Cylinder von Messing, Fig. 525, dessen Enden durch zwei Halbkugeln gebildet werden, in gleichen Abständen mehrere Korkkugel-Elektroscope aufhängt, und ihn nun einem elektrischen Conductor nähert, an welchem ebenfalls solche Korkkugel-Elektroscope aufgehängt sind, so sieht man, dass die Kügelchen der letztern sich immer weniger abstossen, während die Kügelchen an dem genäherten Cylinder immer weiter aus einander gehen. Die stärkste Abstossung dieser Kügelchen findet jedoch nur an den beiden Enden des Cylinders statt, und ist gegen die Mitte hin gleich Null. Mittelst des Elektroscops erkennt man leicht, dass die beiden Enden des Cylinders entgegengesetzte Elektrizitäten haben, und dass der dem positiven Conductor nähere Theil negativ-elektrisch ist, und umgekehrt. Der Conductor hat nach Entfernung des Cylinders wieder dieselbe Menge Elektrizität als vorher, und dem letztern also keine mitgetheilt; während dieser wieder vollkommen unelektrisch erscheint, wenn er nicht berührt ist. Dieser Versuch beweist, dass durch die Elektrizität des Conductors die neutrale Elektrizität des Cylinders vertheilt wird, indem jene die ungleichartige Elektrizität des Cylinders anzieht, die gleichartige aber zurückstösst. Berührt man daher während des Versuches, wenn der Conductor positiv-elektrisch ist, das von ihm abgewendete Ende des Cylinders, und entzieht man ihm also seine positive Elektrizität, so ist er nach der Entfernung von dem Conductor negativ-elektrisch. Die Grösse der Vertheilung hängt von der Intensität der influenzirenden Elektrizität ab, und es kommt daher an dem Ende des Cylinders, welches z. B. vorzugsweise negative Elektrizität zeigt, auch noch positive vor.

Fig. 525.

Denkt man sich nun eine Reihe von neben einander stehenden ... dern, so wird in jedem dieselbe Vertheilung durch den vorhergehen-

den erfolgen, wenn der erste in die Nähe eines elektrischen Körpers kommt, und man kann in der That auf solche Art die Elektrizitäts-Vertheilung in einem Augenblicke bis zu grossen Entfernungen bewirken. Daraus kann man sich nun die Elektrizitäts-Vertheilung in einem jeden Körper erklären, wenn man sich nur erinnert, dass dieser aus Massentheilchen besteht, welche durch leere Zwischenräume von einander getrennt sind. Man nennt diesen so erregten elektrischen Zustand einen *influirten*, und die Einwirkungen des elektrischen influirenden Körpers auf den andern, wie oben schon gesagt, die *Influenz* oder *Vertheilung*. Die Influenz eines elektrischen Körpers wirkt auf einen andern unelektrischen Körper nach *Faraday* und *Riess* auch dann noch, wenn sich zwischen ihnen ein leitender oder isolirender Körper befindet. Weil aber der Zwischenkörper selbst influenzirt wird und von ihm zwei neue Influenzen ausgehen, so kann durch ihn eine Vermehrung oder Verminderung der Elektrizität des influenzirten Körpers hervorgebracht werden. Vieles hängt dabei von der Natur und Gestalt des Zwischenkörpers ab. Ist dieser z. B. eine leitende Scheibe, so liegen die stärkst-elektrischen Stellen am Rande, bei einer nicht leitenden Substanz können sie in der Mitte liegen und darum auf den influenzirten Körper, wenn er einen kleinen Durchmesser hat, stärker wirken.

Eine Wirkung der Vertheilung empfindet man in der Nähe einer kräftigen Elektrisirmaschine, so oft ein anderer den Conductor entladet. Indem nämlich die elektrische Vertheilung im Körper um so grösser ist, je grösser die Spannung in dem Conductor wird, hört sie plötzlich auf, wenn man diesen entladet. Die positive und negative Elektrizität vereinigen sich wieder, und man empfindet eine Erschütterung, die man den *Rückschlag* nennt. Kurz zuvor getödtete und in der Nähe des Conductors aufgehängte Frösche kommen dadurch in Zuckungen.

Munck af Rosenschöld hat nachgewiesen, dass die elektrische Vertheilung in Halbleitern auch dauernd sein kann, wie die magnetische. Nimmt man z. B. ein 3 bis 4 Zoll langes Stäbchen von Schwefel-Antimon an dem einen Ende zwischen die Finger und nähert man es mit dem andern Ende dem Conductor einer Elektrisirmaschine, so wird es auf einige Zeit polarisch, und jedes Stäbchen, welches man davon abbricht, zeigt zwei Pole.

Wenn man einen sehr langen, nicht isolirten Cylinder dem Conductor der Elektrisirmaschine nur bis auf eine Entfernung nähert, welche dem vier- oder fünffachen Durchmesser des Cylinders gleich ist, und die Intensität der Elektrizität in verschiedenen Stellen desselben untersucht, so findet man nach *Coulomb*, dass sie im umgekehrten Verhältnisse mit dem Quadrate der Entfernung vom Mittelpunkte des Conductors steht.

§. 428.

Wenn eine Glasplatte, Fig. 526, auf beiden Seiten, bis auf einen Zoll Entfernung vom Rande, mit zwei Stanniolblättchen *a* und *b* überzogen wird, und man klebt auf sie die seidenen Faden *cd* und *ef*, an welchen die Korkkügelchen *d* und *f* hängen, so kann man der Fläche *b* Elektrizität mittheilen, welche die gleichartige Elektrizität in *a* abstossen und die ungleichartige anziehen wird. Ist *a* in Verbindung mit dem Boden, so wird durch die Influenz negative Elektrizität herbeigezogen. Die beiden Elektrizitäten verdichten sich daher, wie bei dem Conden-

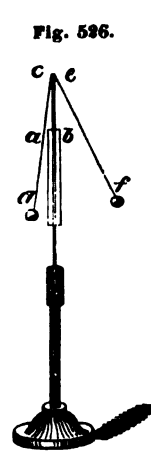
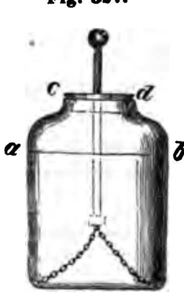


Fig. 526.

sator auf den beiden innern Seiten der Stanniolblättchen, die dem Glase zugewendet sind. Die äussere Seite von *b*, welche mit dem Conductor in Verbindung steht, hat nur Elektrizität, deren Spannung von der des Conductors selbst abhängt. Der Elektrizitätsverlust, welcher bei einem freistehenden einzelnen Stanniolblättchen sehr gross wäre, wird nach *Riess* durch die Glasplatte und dadurch sehr vermindert, dass die Anhäufung nicht mehr am Rand, sondern durch die gegenseitige Anziehung mehr nach der Mitte hin stattfindet. Entfernt man die Glasplatte von dem Conductor, so wird das Kügelchen *f* vermöge der positiven Elektrizität auf der Aussenfläche von *b* abgestossen. Hebt man die Verbindung mit der Erde auf, und berührt man *b*, so fällt *f*, und *d* steigt, weil nun in *a* aus gleicher Ursache ein Ueberschuss von negativer Elektrizität ist. Ueberlässt man beide Seiten sich selbst, so wird ihre elektrische Spannung durch die Mittheilung an die Luft nach einiger Zeit gleich. Die auf beiden Seiten der Glasplatte angehäuften entgegengesetzten Elektrizitäten unterscheiden sich nach *Riess* durch keine Eigenschaft von der freien. Hierauf beruht ausser dem Condensator, die *Franklin*'sche *Tafel*, indem man nur der Metallscheibe auf der einen Seite der Glastafel statt einer geringen Menge von Elektrizität, die einer Elektrisirmaschine mittheilt. Der älteste Apparat dieser Art ist die *Kleist*'sche, auch *Leidner Flasche*, Fig. 527. Man beklebt ein dünnes Zuckerglas innen und aussen möglichst glatt mit Stanniol bis *ab* etwa 1½ Zoll vom obern Rand. Diesen bestreicht man darauf mit Schellack, um die Leitung der Elektrizität von einer Belegung zur andern zu verhüten. Die Flasche ist oben durch ein gefirnisstes Holz *cd* geschlossen, durch welches ein starker Messingdraht geht, der sich oben in einen Knopf endigt, unten aber durch ein Kettchen mit dem innern Beleg in leitender Verbindung steht. Will man die Flasche laden, so setzt man ihren äussern Beleg mit der Erde in leitende Verbindung und bringt den Knopf in die Nähe des Conductors einer Elektrisirmaschine, während diese in Bewegung gesetzt wird. Dadurch häuft man innen positive und aussen negative Elektrizität an. Dass die Flasche nicht mehr Elektrizität aufnimmt, erkennt man daran, dass ein auf dem Conductor befestigtes *Henley*'sches Elektrometer den höchsten Grad der Spannung anzeigt. Die Spannung hängt von der Spannung der Elektrizität des Conductors ab, und kann nicht mehr steigen, sobald die freibleibende Elektrizität des innern Belegs der Flasche der Elektrizität des Conductors das Gleichgewicht hält. Sobald dieser Zustand eingetreten ist und die Flasche in Folge davon keine Elektrizität aus dem Conductor mehr aufnehmen kann, heisst sie geladen.

Fig. 527.

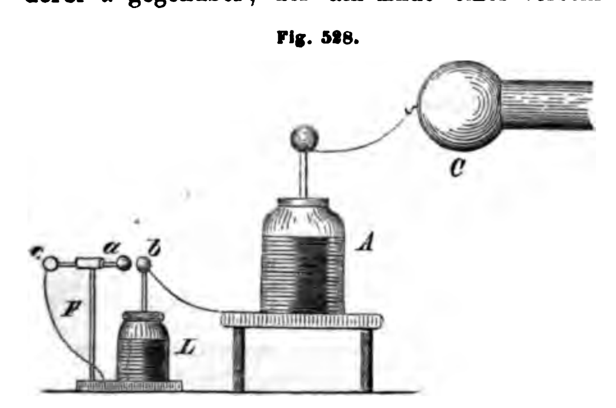


Will man sehr starke elektrische Wirkungen hervorbringen, so verbindet man an mehreren Leidner Flaschen die aus ihrem Innern kommenden Drähte durch abgerundete Metallstäbe mit einander. Die äusseren

Belegungen verbindet man dadurch, dass man die Flaschen dicht neben einander in einen Kasten stellt, dessen Boden mit einer Stanniolplatte überzogen ist. Einen solchen Apparat nennt man eine *elektrische Batterie.* Man hat gefunden, dass bei gleichdickem Glase die Kraft einer Batterie im Verhältnisse der belegten Oberfläche zunimmt. Je dünner das Glas ist, desto stärker wird die Ladung, aber desto grösser ist auch die Gefahr des Zerspringens.

Um die Stärke der Ladung einer Flasche zu messen und auch um Wirkungen von bestimmter Grösse damit hervorzubringen, wendet man *Lane's* Flasche L, Fig. 528, an. Dem Knopf b derselben steht ein anderer a gegenüber, der am Ende eines verschiebbaren Drahtes ac befestigt ist. Die Hülse, durch welche dieser geht, ruht auf einer Glassäule F, das Ende c ist durch ein Kettchen mit dem äussern Beleg der Flasche L leitend verbunden. Je näher man den Knopf a dem b bringen muss, damit die Flasche sich entladet, desto geringer ist die Spannkraft oder Dichte der in ihr angehäuften Elektrizität.

Fig. 528.



Diese Flasche wendet *Riess* auf folgende Art zur Bestimmung der Quantität der einer Batterie oder einer andern Flasche zugeführten Elektrizität an. Die Flasche A wird isolirt und die innere Belegung mit dem Conductor C der Elektrisirmaschine, die äussere durch einen starken Draht mit der innern Kugel b der Maassflasche L in Berührung gebracht. Die äussere Belegung der Maassflasche steht durch eine vollkommene Ableitung mit der Erde in Verbindung. Dreht man nun die Scheibe der Elektrisirmaschine mit gleichförmiger Geschwindigkeit, so bemerkt man, dass bei einem gewissen Abstand der Kugeln an der Maassflasche, stets in derselben Zeit gleich viele Entladungen derselben stattfinden, die Batterie mag aus einer oder 20 Flaschen bestehen. Da nun die Ladung von *Lane's* Flasche durch die auf der äusseren Belegung der Batterie abgestossene Elektrizität stattfindet, so ist zu n Ladungen und Entladungen die $n$fache Menge derselben nöthig. Entladet man eine Batterie durch zwei Kugeln, deren Abstand so gross ist, dass gerade noch Entladung stattfindet, also in der Schlagweite, so ergibt sich nach *Riess*, dass *die Schlagweite der Dichte der angehäuften Elektrizität proportional* und von der Natur des Schliessungsbogens unabhängig ist. Doch hängt sie von der Form des Endes b der Entladungsflasche L ab; denn sie ist grösser, wenn b eine Scheibe, als wenn es eine Kugel von gleicher Oberfläche ist. Was bei der Entladung als ein einziger Funke erscheint, ist eine Reihe vieler momentaner Funken. Diess scheint unmöglich zu sein, weil schon nach dem Uebergang des ersten Funkens die Dichte der Elektrizität geringer ist; aber die Luft

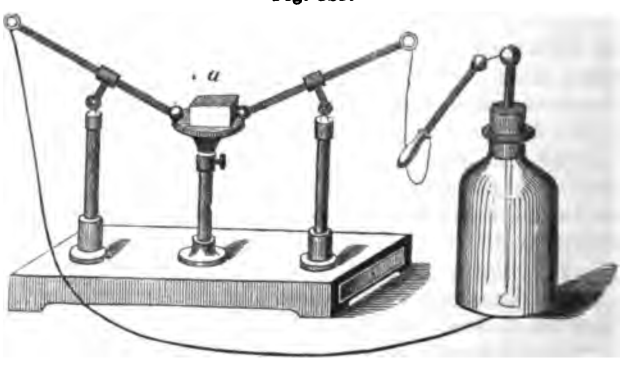
hat dadurch eine Aenderung erlitten, ist verdünnt und mit vielen von den Kugeln losgerissenen Theilchen erfüllt. In solcher Luft hat auch eine geringere Elektrizitätsmenge eine grosse Schlagweite. Bewirkt man die Entladung dadurch, dass man zwischen den Draht *ac*, Fig. 528, und den äussern Beleg der Flasche *L* Elektrizitätsleiter oder Schliessungsbogen von verschiedener Art, Form und Länge bringt, so findet man nach *Riess*, dass die Entladungszeit grösser wird, wenn der Widerstand im Schliessungsbogen grösser ist. Die Wirkung der Entladung hängt bei einem Schliessungsbogen von bestimmter Länge von dem Querschnitt und nicht, wie man sonst glaubte, von der Oberfläche ab; doch leiten unvollkommene Leiter vermöge der Feuchtigkeit oder anderer atmosphärischer Einflüsse die Elektrizität oft viel besser an ihrer Oberfläche als in ihrer Masse. In diesem Fall findet die Entladung theils in der Masse, theils an der Oberfläche statt.

Um Flaschen von grösserer Schlagweite als gewöhnlich zu erhalten, muss man bei gleicher Oberfläche des Belegs den unbelegten Rand sehr gross machen und Gläser von wenigstens 1 Linie Dicke dazu nehmen, damit keine Entladung von aussen oder eine Durchbrechung des Glases möglich ist. Auch sollen nach *Munck af Rosenschöld* grössere Flaschen die Elektrizität stärker condensiren als kleine.

Zu manchen Versuchen im Kleinen reicht *Döbereiner's* Elektrisirmaschine hin. Sie besteht aus einem kleinen Fläschchen, dessen Draht gekrümmt ist. Während man dieses mit dem Daumen und Zeigefinger an der äusseren Belegung hält, reibt man mit den drei andern Fingern eine Glasröhre durch einen in der Hand liegenden Seidenlappen, auf den etwas Amalgama gestreut ist. Der gegen die Glasröhre angedrückte Draht ladet das Fläschchen.

Um die Versuche mit den Ladungsflaschen bequem anstellen zu können, sind mehrere Apparate nothwendig; 1) Drähte und Ketten von Metall. Besser als letztere sind spiralförmig dicht gewundene Drähte. 2) Der Auslader, ein scheerenförmiges Instrument von Metalldraht mit einem Charnier und einem oder zwei gläsernen Griffen. Die vordern Enden der Drähte sind mit Kugeln versehen, womit man die äussere und innere Belegung in Verbindung bringt. 3) *Henley's* allgemeiner Auslader, Fig. 529, an welchem man zwei Metalldrähten beliebige Neigungen und Entfernungen geben und den elektrischen Funken durch einen auf das Tischchen gelegten Körper leiten kann. Ausserdem verschiedene Kugeln, Scheiben und Spitzen, welche man auf jene Drähte befestigt.


Fig. 529.

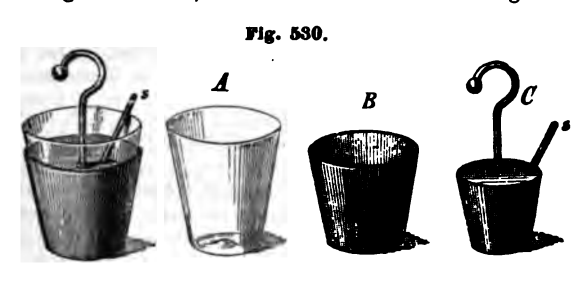


§. 429.

Mit Hilfe der *Franklin*'schen Tafel, der *Kleist*'schen oder *Leidner* Flasche und der elektrischen Batterie kann man folgende Versuche zur Belehrung anstellen:

1) Wenn die *Franklin*'sche Tafel oder die *Kleist*'sche Flasche, wie in Fig. 530, so eingerichtet ist, dass man den äussern Beleg B und den innern C durch ein isolirendes Glasstäbchen s wegnehmen kann, nachdem sie geladen ist, so lässt sich zeigen, dass die beiden Elektrizitäten an dem Glas und nicht an dem metallischen Beleg haften, und dass dieser nur zur Leitung dient. Denn entfernt man B und C von der Leidner Flasche A, nachdem sie geladen ist, und bringt man beide in Contact, so ist doch nachher die Flasche wieder geladen, wenn jeder Beleg an seine vorige Stelle gebracht wird.

Fig. 530.



2) Eine isolirte Flasche kann man nicht laden; nähert man ihr aber von aussen einen Leiter, während ihr Knopf in der Schlagweite des Conductors sich befindet, so springt jedesmal ein Funke auf den genäherten Leiter über, wenn der Conductor dem Knopfe einen solchen abgibt.

3) Einige Zeit nach der Entladung ist die Flasche wieder schwach geladen, weil ein Ueberschuss von Elektrizität auf der einen Seite vorhanden war. Dieses Residuum ist abhängig von der Natur der Flasche, und beträgt, wenn die Flasche in der grössten Schlagweite entladen worden ist und man den Entlader nicht mehr genähert hat, nach *Riess* gewöhnlich $\frac{2}{13}$ der Ladung, wenn die Kugeln festen Stand haben.

4) Die mechanische Gewalt des Funkens der Flasche ist viel grösser, als die einer Elektrisirmaschine. Man kann damit mehrere Kartenblätter, die man zwischen die Drähte des Ausladers bringt, oder auch eine Glasscheibe durchbohren. Im ersten Falle erscheint das Loch der Karte nach beiden Seiten aufgeworfen. Es ist also an der Stelle, wo die Entladung begann, auch die Spannung und die bei der Rückkehr der Theilchen in den natürlichen Zustand erfolgte Erschütterung am stärksten gewesen.

5) Die Luft wird beim Ueberspringen des Funkens ausgedehnt, wie man findet, wenn zwei Drähte in einen Glascylinder gehen, an dessen Seite ein communicirendes Röhrchen mit einer gefärbten Flüssigkeit sich befindet und ein Funke von einem Drahte auf den andern überspringt. Hierauf beruht *Kinnersley's* elektrisches Thermometer. Nach *Riess wächst die Schlagweite in gleichem Verhältniss mit der Erwärmung eines constanten Drahtes,* durch welchen die Entladung geht.

6) Leitet man die Entladung durch einen dünnen Draht, so wird dieser erwärmt. Schliesst man ihn in ein *Luft-Thermometer* ein, so dehnt die Luft sich aus und gibt dadurch die Menge der frei gewordenen Wärme an. Auf solche Art hat *Riess* gefunden, *dass die Erwärmung des Drahtes dem Produkt aus der Quantität in die Dichte der Elektrizität direkt proportional und unabhängig von der Länge des Drahtes ist, dass sie bei gleich langen Drähten von demselben Metall, den Biquadraten der Radien dieser Drähte umgekehrt proportional ist, und dass die Wärmemenge, die von einem Draht frei wird, direkt seiner Länge und umgekehrt proportional dem Quadrat seines Radius, also seinem Querschnitt, ist.*

7) Das Wasser wird so stark ausgedehnt, dass die stärksten Glasröhren zersprengt werden, wenn sie mit Wasser gefüllt sind, und ein Funke von einem hineingesteckten Drahte auf einen nahe gegenüberstehenden überspringt. Im Allgemeinen findet nach *Riess* bei solchen Entladungen durch Flüssigkeiten die Funkenentladung leichter statt, wenn die positive Elektrizität durch einen Entlader gehen muss, der die Flüssigkeit nur mit einer kleinen Fläche berührt, und die Erwärmung der Flüssigkeit ist um so grösser, je geringer das Leitungsvermögen derselben für continuirliche Entladungen ist.

8) Das Licht des Funkens einer Leidner Flasche ist kurz und geradlinigt, wenn sie durch metallische Schliessungsbogen entladen wird, und die Entladung also nur kurze Zeit erfordert. Dabei hört man einen Knall, der besonders stark ist, wenn der Schliessungsbogen sich in einen Bleidraht endigt. Ist der Widerstand

gross und z. B. Wasser in dem Schliessungsbogen eingeschaltet, so ist der Funke nicht lebhaft, anders gefärbt und verursacht kein Geräusch.

Indem *Riess* auf diese Art die Pristley'schen Ringe vergl. S. 540 erzeugte, fand er, dass wenn der positive Strom von der Metallscheibe auf den Draht überging, sich ein matter Kreis bildete, umgeben von einem blanken Gürtel. Im entgegengesetzten Fall fehlt der matte Kreis und der Gürtel umgibt den blanken Raum.

9) Leitet man einen Schlag über Zucker, Schwerspath, Flussspath und andere leicht phosphorescirende Körper, so leuchten sie nachher im Dunkeln.

10) Entladet man eine Flasche durch eine Kette von feinem Draht, deren Glieder Spitzen haben, so sieht man im Dunkeln an jeder Spitze einen Lichtbüschel. Diess ist nach *Riess* die Wirkung einer Seitenentladung, welche auch der schwächste Entladungsstrom hervorbringt, wie leicht zu sehen ist, wenn man vor dem Schliessungsdraht einen Seitendraht nach einem Elektroscop führt. Die Seitenentladung ist eine Wirkung des Ueberschusses von Elektrizität auf einer Seite der Flasche.

11) Wenn man einen starken Schlag durch einen Eisendraht leitet, so glüht er und wird in geschmolzenen Kügelchen umhergeworfen.

Riess hat über die Wirkungen der Entladung auf feine Platindrähte bei *steigender* Wirkung der Batterie folgende Beobachtungen gemacht, die für die Kenntniss der Molekularkräfte von Wichtigkeit sind: 1) der Draht wird bei der Entladung bloss warm, 2) er wird erschüttert. In beiden Fällen reissen sich Theilchen von seiner Oberfläche in Gestalt eines Dampfes los, 3) er erhält Einbiegungen und wird dadurch verkürzt. Die erste Einbiegung entsteht da, wo der Draht schon einen Stoss oder Druck erlitten hatte. Diese Einbiegungen werden bei stärkeren Entladungen so häufig und dicht, dass sie dem Draht ein geripptes, wellenförmiges Ansehen geben und oft nur unter der Loupe gesehen werden können. 4) Der Draht glüht. Dieses Glühen schreitet vorzugsweise von der positiven zur negativen Seite fort. 5) Bei stärkerem Glühen bis zum Weissglühen reisst der Draht an seinen Enden ab. Die Enden sind noch nicht geschmolzen. 6) Der Draht zersplittert. 7) Er schmilzt und die geschmolzenen Theile werden als Kügelchen zerstreut. Brennbare Metalle, wie Eisen, schmelzen und verbrennen bei geringerer Temperatur, weil sie Sauerstoff aufnehmen. Bei der stärksten Ladung wird 8) der Draht unter heftigem Knall und glänzender Lichtentwicklung förmlich in Dampf verwandelt, der zwischen Papier Zeichnungen veranlasst. Das Glühen und Schmelzen der Metalle unter dem Einfluss der elektrischen Entladung findet bei einer viel niedrigeren Temperatur statt, als sonst. Je grösser der Widerstand, desto langsamer die Entladung, daher ist das Residuum beim Schmelzen oder Zerreissen des Drahtes grösser, als sonst.

12) Legt man einen Streifen Blattgold zwischen zwei Glasplatten, die man zusammenpresst, so wird durch den elektrischen Schlag das Gold in's Glas geschmolzen.

13) Die zündende Kraft des Funkens wird erhöht, wenn er vorher durch einen feuchten Leiter gehen muss. Bringt man Schiesspulver zwischen die Drähte des *Henley*'schen Ausladers und leitet man einen Funken hindurch, nachdem man die Leitung desselben von der positiven Seite her durch ein kurzes Stückchen nassen Bindfadens unterbrochen hat, so wird das Pulver entzündet, während es sonst nur umhergeworfen wird. Diess rührt daher, dass die Erwärmung um so grösser ist, je länger die Entladung dauert.

14) Leitet man einen elektrischen Schlag durch den Körper, so ist die Erschütterung wahrscheinlich desshalb so stark, weil beide Elektrizitäten sich in entgegengesetzten Richtungen bewegen. Man kann einer ganzen Reihe von vielen Personen, die sich die Hände reichen, zugleich einen Schlag ertheilen. Starke Ladungen können Thiere tödten, und bei Menschen Lähmung oder Blutspeien zur Folge haben.

15) Eine Leidner Flasche kann durch die Flamme einer Kerze, welche man auf dem Knopf der Flasche befestigt, nach *Petrina* in beträchtlicher Entfernung geladen werden. Diess ist nach *Riess* eine Folge davon, dass die von der Flamme aufsteigende Dampfmasse in einzelne Fäden ausläuft, die wie die feinsten Spitzen Elektrizität aufnehmen und weiter leiten.

16) Verbindet man die beiden Enden des Multiplicatordrahtes von einem Galvanometer mit den Belegungen einer geladenen Flasche, so ist nur sehr schwache eine Wirkung auf die Magnetnadel zu beobachten; bringt man aber an beiden E.

den des Drahtes eine geeignete Zwischenleitung an, welche die Entladung der Flasche verlangsamt, so wird die Magnetnadel abgelenkt. Die geeignetste Zwischenleitung geben nach *Riess* zwei mit destillirtem Wasser gefüllte Röhren. Mit Hilfe der Hydro-Elektrisirmaschine kann man auch ohne solche Röhren die Ablenkung der Magnetnadel nachweisen, wenn man das eine Ende des Multiplicatordrahtes mit dem Kessel, das andere mit dem Sieb oder den Spitzen verbindet, welche den Dampf auffangen.

17) Setzt man die äusseren Belegungen einer geladenen und einer ungeladenen Flasche mit einander in Verbindung, und werden nun auch die innern Belegungen leitend verbunden, so sind nach abermaliger Trennung beide Flaschen in einerlei Sinn geladen. Dabei hat ein Strom zwischen den äussern und einer zwischen den innern Belegen stattgefunden, welcher nach *Dove* der *Ladungsstrom* genannt wird und alle Eigenschaften des gewöhnlichen Entladungsstroms hat.

18) Verbindet man den äussern Beleg einer isolirten Flasche mit dem innern einer zweiten, gleichfalls isolirten Flasche, und den äussern von dieser wieder mit dem innern einer dritten u. s. w., so erhält man die *Franklin*'sche *Batterie*, deren Entladung langsam und von schwacher Wirkung ist, aber die obigen Sätze von der Verzögerung und successiven Entladung bestätigt.

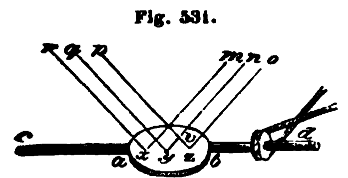
19) Die chemische Wirkung des Funkens kann eine Verbindung oder Trennung der Elemente zur Folge haben. Metalldrähte werden dadurch oxydirt und aus Zinnober, der in eine Glasröhre festgestampft ist, das Quecksilber ausgeschieden. Wasser wird in geringer Menge zersetzt, wenn man nach *Wollaston* zwei feine Platindrähte so in Glasröhren einschliesst, dass sie kaum mit den Enden hervorragen und im Wasser viele Funken von einem auf das andere überschlagen lässt und dergl. mehr. Alle chemischen Wirkungen der Elektrizität werden aber leichter durch den Galvanismus hervorgebracht.

20) Ein Goldplättchen, welches dem aus der Leidner Flasche mehrere Zoll weit hervorragenden Knopf genähert wird, bleibt lange Zeit ihm gegenüber und in einigem Abstand von ihm in schwebender Stellung. Es strahlt dabei am abgewendeten Ende die gleichartige Elektrizität des Knopfes in die Luft aus.

§. 430.

Nach den theoretischen Untersuchungen *Kirchhoff's* kann nach §. 421 die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes nicht grösser, als die des Lichtes sein. Die dort erwähnten Messungen *Wheatstone's* zeigten zugleich, dass die Dauer des Funkens geringer als ein Millionstel Sekunde sei. Auch fand derselbe, dass in dem Schliessungsdrahte einer geladenen Flasche, in dem Momente der Entladung, die beiden Elektrizitäten von den Enden des Drahtes mit gleicher Geschwindigkeit nach der Mitte fortgehen. Um sich eine deutliche Vorstellung von seinen Versuchen zu machen, denke man sich ab, Fig. 531, sei ein ebener Stahlspiegel, welcher sich mittelst der horizontalen Achse cd und durch eine beliebige Vorrichtung sehr schnell drehen lässt. Wenn nun dieser Spiegel stille steht oder sich dreht, und von den drei Punkten p, q und r, welche sich in gerader, horizontaler Linie befinden, zu gleicher Zeit unendlich kurze Lichtblitze ausfahren, so wird ein in mno befindliches Auge drei leuchtende Punkte neben einander und in gerader Linie in dem Spiegel ab erblicken. Wenn aber der Lichtblitz von q etwas später entsteht, als der von r und p, und der Spiegel dreht sich so, dass der obere Theil desselben sich dem rp nähert, so muss der von q kommende Lichtstrahl an einer höher liegenden Stelle, etwa in v reflectirt werden, um in das unverrückte Auge bei n gelangen zu können. Das Spiegelbild von q erscheint alsdann etwas

Fig. 531.



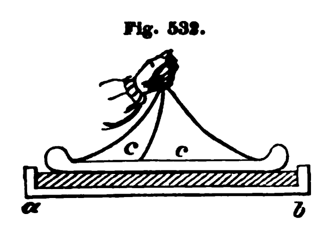
tiefer als die Spiegelbilder von *r* und *p*. Dreht sich aber der Spiegel in der entgegengesetzten Richtung, so muss das Spiegelbild von *q* etwas höher erscheinen. Daraus folgt, dass, wenn die Lichtblitze eine merkliche Dauer haben, sie auf dem Spiegel *ab* als kleine Kreisbogen erscheinen müssen, und dass die Grösse dieser Bogen von den beiden Stellungen des Spiegels gegen das Auge abhängt, bei welchen das Bild der Lichtblitze in das Sehfeld ein- und austritt. Wenn daher die beiden Lichtblitze eine eben so lange Dauer haben, als Zeit zwischen beiden Stellungen des Spiegels verfliesst, so gibt die Länge des Bogens ein Maass für die Dauer des Blitzes. Wenn aber der Anfang und das Ende eines Blitzes zwischen diesen Zeitraum fallen, so wird der leuchtende Bogen kürzer sein, und aus der bekannten Umdrehungs-Geschwindigkeit des Spiegels und der Länge des Bogens sich die Dauer des Blitzes berechnen lassen. Denkt man sich ferner einen elektrischen Leiter, z. B. einen langen Kupferdraht, welcher an drei Stellen *r*, *q* und *p* unterbrochen ist, so muss, wenn man eine Leidner Flasche durch ihn entladet, an jeder dieser Stellen ein Funke entstehen. Ist der Raum, welchen die Elektrizität von *r* bis *q* zu durchlaufen hat, sehr gross und eben so lang als der, welchen sie von *q* bis *p* zu durchlaufen hat, so muss sie jedenfalls in *q* später eintreffen als in *r*, und *q* muss daher in dem gedrehten Spiegel an einer andern Stelle erscheinen als *p* oder *r*. Dabei machte nun *Wheatstone* die wichtige Entdeckung, dass der Funke in *q* nicht nur später erscheint als in *r*, sondern auch später als in *p*, oder dass die drei kleinen Bogen, welche als Spiegelbilder der drei Blitze gesehen wurden, die Gestalt ≡ oder ≡ hatten, je nachdem der Spiegel sich drehte. Daraus folgt, dass die Elektrizität an beiden Enden des Entladungsdrahtes zugleich erscheint, und von dort nach der Mitte fortschreitet. Es strömt also die positive Elektrizität nicht bloss nach der negativen Seite der Flasche, sondern die negative Elektrizität kommt ihr von dort mit gleicher Geschwindigkeit entgegen, das heisst, die Vertheilung der Elektrizität durchläuft von der positiven und negativen Seite der Flasche aus in gleichen Zeiten auch gleiche Räume. Durch das spätere Auftreten des mittlern Funkens oder aus der Verschiebung seines Bildes im Spiegel, aus der Umdrehungs-Geschwindigkeit des letztern und aus der Länge der Drähte zwischen *q* und *r* und zwischen *p* und *q* lässt sich nun leicht die Geschwindigkeit der Elektrizität im Kupferdrahte berechnen. Nach andern Versuchen ist die Geschwindigkeit der Elektrizität kleiner, wie schon im §. 421 angeführt wurde. Diese Verschiedenheit hat ihren Grund in der Natur des Leiters und in den dort erwähnten andern Ursachen. Da jede Entladung successiv erfolgt, wie im vorigen §. erwähnt wurde, und *Wheatstone* durch obige Versuche mit seinem Apparat nachgewiesen hat, so bezieht sich die Dauer des Funkens eigentlich auf die Zeit der sichtbaren Entladung durch viele Funken.

Dreht man im Finstern eine Scheibe, die mit farbigen Sectoren bemalt ist, noch so schnell, so scheint sie bei der Entladung des Conductors oder einer Flasche still zu stehen, indem man die einzelnen Farbenstreifen unterscheiden kann, weil die Beleuchtung nur während einer unendlich kurzen Zeit stattfindet.

§. 431.

Auf das Beharren der isolirenden Körper im Zustande der Vertheilung gründet sich auch das *Elektrophor*, Fig. 532. Es besteht aus einem dünnen Harzkuchen, welcher in einen Teller *ab* von Eisenblech, oder von Holz mit Stanniol überzogen, gegossen ist, und aus einem metallenen Deckel *cc* von etwas geringerem Durchmesser. Dieser Deckel kann durch seidene Schnüre aufgehoben werden. Indem man den Kuchen mit einem Fuchsschwanze peitscht, wird er negativ-elektrisch. Setzt man nun den Deckel mittelst der Schnüre darauf, und entfernt man ihn wieder, ohne ihn berührt zu haben, so ist er unelektrisch. Berührt man ihn aber, während er auf dem Kuchen liegt, so geht die von der Harzelektrizität zurückgestossene negative Elektrizität in den Körper über, und der Deckel gibt also nach dem Aufheben einen positiv-elektrischen Funken. Indem nämlich der Kuchen negativ-elektrisch durch das Reiben geworden ist, wurde auch eine Vertheilung der Elektrizität in der Form bewirkt. Die positive Elektrizität derselben sammelt sich dicht an der untern Fläche des Kuchens, die negative sucht sich zu entfernen und entweicht, wenn die Form mit der Erde in Verbindung ist. Das Plus der untern Fläche und das Minus der obern suchen sich zu nähern, und daher ist im Innern des Kuchens ihre Dichte am grössten. Sie können sich aber nicht vereinigen, weil derselbe ein Nichtleiter ist. Diess verhindert zugleich ihr Entweichen in die Luft. Berührt man die Form und den obern Theil des so eben aufgesetzten Deckels, so erhält man einen Schlag, indem sich $+ E$ mit $- E$ verbindet. Kann man den Kuchen in der Form nach dem Reiben umkehren, so ist er oben positiv und unten negativ. Der Deckel gibt dann $- E$ statt $+ E$, wenn man ihn nach dem Berühren aufhebt.

Fig. 532.



Die Masse zu dem Kuchen dieser Art von Elektrisirmaschine besteht aus 8 bis 10 Theilen Schellack und 1 Theil venetianischem Terpentin. Nach *Böttger* soll ein Kuchen aus 5 Theilen Schellack, 5 Mastix, 2 venetianischen Terpentin und 1 Th. Marineleim noch besser sein.

Da die Elektrizität des Deckels so lange wieder hervorgerufen wird, als die Vertheilung in dem Harze fortdauert, so ist das Elektrophor oft mehrere Monate lang brauchbar, ohne auf's Neue gerieben werden zu müssen, und wurde daher sonst bei Zündmaschinen benutzt.

Ein Elektrophor von starker Wirkung verschafft man sich nach *Poppe* auf folgende Art: Eine runde und starke Eisenplatte, die auf der obern Fläche durch Abdrehen eben gemacht ist, wird mit 6 Bogen ungeleimtem Druckpapier, die am Rand zusammengenäht sind, bedeckt und von unten durch Weingeistlampen erhitzt. Wenn das Papier durchwärmt ist, so wird es mit dem Fuchsschwanz gerieben und der Deckel wie sonst darauf gesetzt. Statt des Harzkuchens bei obigem Elektrophor genügt auch eine über die Form ausgespannte Platte von Gutta percha, die nachher auf gleiche Art elektrisch gemacht wird. Auch *Schönbein's* elektrisches Papier kann auf gleiche Art mit grossem Erfolg benutzt werden; eben so vulkanisirter Kautschuck.

D. Elektrizität durch Berührung. Galvanismus.

§. 432.

Sowohl bei der Berührung verschiedenartiger fester Körper, als bei der Berührung zwischen festen und flüssigen Körpern findet Elektrizitätserregung statt.

Von der Wahrheit der ersten Behauptung überzeugt man sich durch den *Volta*'schen *Fundamental-Versuch*. Man nimmt zwei kreisförmige, sehr glatte Scheiben von Zink und Kupfer, und versieht sie in der Mitte mit isolirenden Handgriffen. Diese Scheiben setzt man auf einander, indem man ihre äussern Flächen mit den Fingern berührt. Hierauf trennt man sie mittelst der isolirenden Handgriffe, berührt mit dem Finger den Collector des auf das *Bohnenberger*'sche, Fig. 518, S. 529, oder ein anderes Elektroscop geschraubten Condensators, und mit der Zinkplatte den Knopf *f* an der Basis desselben. Entfernt man nun den Finger und die Zinkplatte, so findet man beim Aufheben des Collectors, dass die der Basis mitgetheilte Elektrizität positiv war. Eben so überzeugt man sich durch einen ähnlichen Versuch von der negativen Elektrizität der Kupferplatte. Verbindet man dagegen die beiden Metalle in dem Moment, in welchem sie sich berühren, durch die Enden eines Multiplicator-Drahtes, so zeigt sich auch bei den empfindlichsten Galvanometern nicht eine Spur von einem elektrischen Strom. Diess beweist, dass zwar durch die Berührung und Trennung zweier Metalle elektrische Vertheilung stattfindet, dass aber die in dem Drahte des Multiplicators stattfindende Vertheilung und das Aufhören derselben, oder der elektrische Strom, nicht lange genug dauert, um eine Wirkung auf die Magnetnadel zu äussern. Würde man den Contact in unendlich kurzen Zeiträumen erneuern und aufheben, so würde auch wahrscheinlich eine Einwirkung auf die Magnetnadel sich zeigen.

Nennt man die nach dem Contact im Zink vorhandene freie Elektrizitätsmenge $+ E$ und die im Kupfer $- E$, so ist ihre elektrische Differenz $2E$. Der Kürze wegen sagt man gewöhnlich, der zweite Körper habe an den ersten $+ E$ abgegeben, während der erste aber $-\frac{E}{2}$ abgibt, wird schon $+\frac{E}{2}$ in ihm frei. Er erhält also vom zweiten nur noch $+\frac{E}{2}$. Diese Elektrizitätsmenge E ist proportional der *elektromotorischen Kraft* zwischen beiden Körpern, und aus einer noch unbekannten Ursache sehr verschieden bei verschiedenen Metallen.

Galvani, ein berühmter Arzt in Bologna, machte im Jahr 1790 die Entdeckung, dass in dem Schenkel eines vor kurzem getödteten Frosches Zuckungen entstehen, wenn man zwei verschiedene Metallplättchen, z. B. Zink und Kupfer, wovon das eine den Cruralnerv, das andere die Muskeln berührt, unter sich in Contact bringt. Er erklärte sich diese Erscheinung dadurch, dass er annahm, die Muskeln seien auf der Aussenfläche negativ-, im Innern positiv-elektrisch, und glaubte, das elektrische Gleichgewicht derselben werde durch die leitenden Metalle wieder hergestellt. *Volta* zeigte mit Hilfe seines Condensators, dass bei der Berührung der beiden Metalle unter sich entgegengesetzte Elektrizitäten entstehen, und beim Durchgang durch

die Nerven und Muskeln des Thieres Zuckungen hervorbringen. Diese Theorie leitete ihn zu den wichtigsten Entdeckungen, und veranlasste ihn im Jahr 1800 zur Construction eines der wichtigsten Apparate, der *voltaischen Säule.* Wenn schon demnach *Galvani* einzelne seiner Entdeckungen falsch gedeutet hatte, so ist er dennoch in Folge seiner bewunderungswürdigen Beharrlichkeit der Entdecker der thierischen Elektrizität geworden, wovon später das Wichtigste vorkommen wird. *Van Marum* und *Wollaston* bezweifelten zuerst die Wirkung des Contacts und hielten die Oxydation der Zinkplatten, also chemische Wirkung, für die Ursache der *Volta'*schen Elektrizität, und nach ihnen haben noch Viele, besonders *De la Rive,* es wahrscheinlich zu machen gesucht, dass durch Berührung zweier verschiedenen Metalle keine Elektrizität entstehe, sondern dass stets chemische Einwirkungen der Luft, der Feuchtigkeit und dergl. Veranlassung zur Elektrizitäts-Erregung geben. Besondern Anlass zu dem daraus entstandenen Streite gab die Meinung vieler Freunde der chemischen Theorie, es würde von den Anhängern der Contact-Theorie das Entstehen von Elektrizität bei Berührung eines Metalles mit einer Flüssigkeit geläugnet. Letzteres ist jedoch der Fall nicht, und das Entstehen von Elektrizität durch Berührung zweier heterogenen Körper wird nicht nur durch obige Versuche, sondern auch dadurch höchst wahrscheinlich, dass durch blossen Druck, Spaltung und Reibung ohne chemische Einwirkung Elektrizität entwickelt wird.

Um den *Volta'*schen Fundamental-Versuch anzustellen, kann man auf das *Bohnenberger'*sche Elektrometer, Fig. 518, als Basis auch eine ungefirnisste Zinkplatte schrauben und auf diese eine ungefirnisste Kupferplatte als Deckel setzen. Berührt man dann beide Platten und hebt man nach der Berührung den Deckel auf, so zeigt sich die Basis positiv-elektrisch. Wenn die beiden Condensatorplatten sehr eben und von Kupfer sind und mehrere Zoll im Durchmesser haben, so reicht auch die Berührung der Basis mit einem kleinen Stück Zink hin, um so viel Elektrizität zu entwickeln, als zum Anschlagen des Goldblättchens nöthig ist. Da Messing sich gegen Zink wie das Kupfer verhält, so können beide Platten auch von Messing sein.

Wenn man nach *Henrici* ein feines Goldblättchen genau in der Mitte zwischen den Enden eines hufeisenförmig gebogenen Stabes aufhängt, der aus zwei zusammengelötheten Stücken Zink und Silber besteht, so bewegt sich dieses nach dem einen oder andern Metall, je nachdem es positiv- oder negativ-elektrisch gemacht wird.

§. 433.

Die Elektrizitäts-Erregung bei der Berührung fester und flüssiger Körper nimmt man durch den Condensator jedesmal wahr, wenn der feste Körper und die Flüssigkeit Leiter sind, jedoch leichter, wenn letztere kein ganz guter Leiter, wie z. B. Quecksilber, noch ein ganz schlechter, wie z. B. Oel ist. Taucht man eine Zinkplatte in Wasser oder verdünnte Schwefelsäure ein, so findet man das hervorragende Ende derselben negativ-elektrisch. Da nun die eine Elektrizität nie ohne die andere frei wird, so muss die Flüssigkeit zugleich positiv-elektrisch geworden sein. Ebenso werden nach *Buff* in Wasser und Kalilauge alle Metalle negativ; Zink am stärksten, Platina am wenigsten. In verdünnter Schwefelsäure werden mit abnehmender Stärke negativ: Zink, Eisen und Kupfer, positiv: Gold und Platina. In verdünnter Salpetersäure negativ: Eisen und Zink, positiv: Platina und Gold. In concentrirter Salpetersäure, schwach negativ: Zink, positiv: Platina, Gold, Kupfer, Eisen. In concentrirter Zinkvitriollösung, Zink stark negativ, Platina positiv.

Die meiste Elektrizität entwickelt sich beim Eintauchen von Zink in die verdünnte Schwefelsäure. Man kann darum Zink in dieser Flüssigkeit den stärksten *Elektromotor* nennen. Im Wasser ist Platina der schwächste Elektromotor. In reiner Salpetersäure dagegen wird dieses Metall stärker positiv-elektrisch als alle andern.

Der blosse Contact scheint also eine Vertheilung der elektrischen

Kräfte in den Theilchen der Flüssigkeit und in dem berührenden Metall zu bewirken. Auflösungen von Metallsalzen bringen durch Berührung mit Metallen dieselbe Elektrizität hervor, wie die in ihnen enthaltenen Metalle. Bei der Berührung von Flüssigkeiten und Metallen ist die Elektrizitätsentwicklung bald stärker, bald schwächer, als bei der Berührung von Metall mit Metall. So wird das aus dem Wasser hervorragende Ende des Zinks durch die Berührung mit dieser Flüssigkeit weit stärker negativ, als es durch Berührung mit Kupfer positiv wird, und Kupfer wird durch Wasser weit schwächer negativ, als es durch Berührung mit Zink negativ wird.

Wenn man keinen chemisch reinen Zink hat, so bewirken die damit verbundenen fremden Metalltheile eine zusammengesetztere Erscheinung. Das Wasser wird zerlegt, sein Sauerstoff vereinigt sich mit dem Zink zu Zinkoxyd, das sich in der Säure auflöst, und das Wasserstoffgas steigt daran in Bläschen auf. Beim unreinen Zink kann man diese Erscheinung verhüten, indem man ihn, nachdem er einige Zeit in der Säure sich befunden hat, mit Quecksilber begiesst und reibt, wodurch er ein vollkommen gleichartiges Ansehen gewinnt. Diesen amalgamirten Zink wendet man bei allen folgenden Versuchen an.

§. 434.

Indem Zink in verdünnter Schwefelsäure ein stärkerer Elektromotor ist als Kupfer, so wird, wenn Kupfer und Zink zugleich in die Flüssigkeit getaucht werden, die Vertheilung, welche durch den Zink bewirkt wurde, die durch das Kupfer bewirkte Vertheilung übertreffen. Die Flüssigkeit wird dadurch positiv und theilt diese Elektrizität auch dem Kupfer mit. Es muss sich also an dem hervorragenden Kupfer positive Elektrizität zeigen. Taucht man daher eine Zinkplatte z und eine Kupferplatte c, wie in Fig. 533, in dasselbe Gefäss mit verdünnter Schwefelsäure, ohne dass sie sich berühren, so hat das hervorragende Ende des Zinks $-E$ und das von Kupfer $+E$. Diess stimmt auch mit den Versuchen von *Pfaff* und *Peclet* überein. Die zwei heterogenen Metalle befinden sich dabei im Zustande schwacher Ladung, und daher ist ihre Wirkung auf das Elektrometer auch sehr gering. Eine solche Vorrichtung heisst eine *einfache, offene Volta*'sche *Kette*. Berühren sich aber die beiden Metalle ausserhalb der Flüssigkeit, in welche sie getaucht sind, oder setzt man sie, wie in Figur 534, durch einen Draht in Verbindung, so heisst die Kette *geschlossen* und es erfolgt in dem Verbindungsdraht eine Vertheilung, die von dem Zinkende, als dem negativen, und von dem Kupferende, als dem positiven Pole, ausgeht, oder wie man diess gewöhnlich ausdrückt, es geht durch den Draht ein negativer Strom vom Zink zum Kupfer und ein positiver vom Kupfer zum Zink. Der Kürze wegen ist man übereingekommen, unter dem elektrischen Strome nur den letztern, also diejenige Richtung zu verstehen, in welcher sich die positive Elektrizität bewegt. In dem vorliegenden Beispiel geht mithin der Strom in dem Schliessungsdraht vom Kupfer zum Zink und in der Flüssigkeit vom Zink zum Kupfer. Der Zink heisst nach demselben Gebrauch der positiv-elektrische Körper und Kupfer der negative.

Fig. 533.

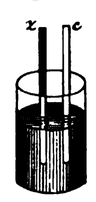


Fig. 534.

Bei der geschlossenen Kette bemerkt man, dass an der Oberfläche des Kupfers Wasserstoffbläschen aufsteigen, welche von der Zersetzung des Wassers herrühren. Zugleich verbindet sich der Sauerstoff des Wassers mit dem Zink, und das dadurch entstehende Zinkoxyd löst sich in der Schwefelsäure auf. Wenn die Kette nicht mehr geschlossen ist, so können sich an dem Zink allein noch Wasserstoffbläschen entwickeln, weil dieser sich fortwährend mit dem Sauerstoff verbindet, oder die Gasentwicklung hört ganz auf, wenn das Wasser sehr schwach gesäuert, oder der Zink sehr rein ist.

So lange die Kette geschlossen ist, geht ein ununterbrochener Strom von dem Kupfer durch den Schliessungsdraht zum Zink, wie man leicht nachweisen kann, indem man die Enden eines Multiplicatordrahtes mit den beiden Metallen in Verbindung setzt. Die Magnetnadel wird dadurch abgelenkt und nimmt eine bestimmte Stellung gegen den magnetischen Meridian an.

Die Ursache dieser ununterbrochenen Thätigkeit kann entweder in der fortdauernden Berührung der Flüssigkeit mit den Metallen, oder in der Berührung der Metalle selbst, oder in der chemischen Wirkung der Flüssigkeit auf diese, gesucht werden. *Faraday* konnte keine Spur eines elektrischen Stromes entdecken, wenn die Metalle durch die Flüssigkeit keine chemische Veränderung erlitten, wie es z. B. der Fall ist, wenn Platin und Eisen in eine Lösung von Schwefelkalium getaucht werden. Da aber auch in diesem Falle nach andern Versuchen die hervorragenden Enden der Metalle entgegengesetzte Elektrizitäten annehmen sollen, so scheint diess zu beweisen, dass durch den Contact zweier Metalle mit einer Flüssigkeit ohne chemische Einwirkung zwar eine elektrische Vertheilung bewirkt werden kann, die aber in dem Verbindungsdraht nur dann einen merklichen Strom erzeugt, wenn die Berührung mit der Flüssigkeit in sehr kurzen Zeiträumen beständig unterbrochen und erneuert wird. Die durch die chemische Wirkung hervorgebrachte Kraft des Stromes würde alsdann durch die bei jener Bewegung erzeugte Kraft ersetzt werden.

§. 435.

Welches auch die Ursache der elektromotorischen Kraft sein mag, so ist doch durch die Versuche von *Poggendorf* jedenfalls folgendes Gesetz als eine Thatsache so gut wie erwiesen: Wenn zwei der obigen Körper: Zink, Eisen, Kupfer, in verdünnte Schwefelsäure getaucht werden, so ist der früher genannte stets der stärkere Elektromotor gegenüber von einem der später stehenden, und *die elektromotorische Kraft der beiden äussersten von diesen Körpern ist gleich der Summe der elektromotorischen Kräfte zwischen dem ersten und zweiten und zwischen dem zweiten und dritten.* So ist also z. B. die elektromotorische Kraft zwischen Zink und Kupfer gleich der elektromotorischen Kraft zwischen Zink und Eisen plus der elektromotorischen Kraft zwischen Eisen und Kupfer. Diess wird an einem besondern Fall am leichtesten verstanden: Es sei die elektrische Spannung des Zinks, wenn er allein in eine Flüssigkeit, z. B. in Wasser, gestellt wird = 100. Ebenso die des Eisens = 40, und die des Kupfers = 10. Steht nun Zink im Wasser, so ist die Elektrizität des Wassers positiv, und ihre Menge wird ausgedrückt

durch + 100, während die vom hervorragenden Zink = — 100 ist. Steht Eisen allein im Wasser, so ist seine Elektrizität — 40 und die des Wassers + 40. Stehen also Eisen und Zink neben einander im Wasser, so nimmt das Eisen zu seinen — 40 aus dem Wasser noch auf + 100, welche von der vertheilenden Kraft des Zinks darin sind. Die Elektrizität des Eisens ist also + 60. Der Zink nimmt aus dem Wasser auf + 40, welche von der vertheilenden Wirkung des Eisens herrühren. Seine Elektrizität ist also — 100 + 40 oder — 60. Zink und Eisen stehen sich also mit den Elektrizitäten — 60 und + 60 gegenüber. Je grösser diese Elektrizitätsmenge ist, desto grösser muss die Wirkung sein. Nennt man die Ursache dieser Wirkung die elektromotorische Kraft, so ist also *die elektromotorische Kraft von Zink und Eisen im Wasser proportional der Differenz der Elektrizitätsmengen, die beide für sich allein im Wasser annehmen.* Eben so ist die elektromotorische Kraft von Eisen und Kupfer vorgestellt durch 40 — 10 oder 30. Die zwischen Zink und Kupfer ist aber 100 — 10 oder 90, also die Summe von den elektromotorischen Kräften 60 und 30.

In der offenen Kette Fig. 533 ist also unter obiger Annahme die Elektrizitätsmenge am Zink = — 100 + 10, und am Kupfer = + 100 — 10. Wird aber diese Kette wie in Fig. 534 durch einen Kupferdraht geschlossen, so kommt auch noch die elektromotorische Kraft der Metalle unter sich hinzu. Gesetzt, diese sei zwischen Zink und Kupfer = 66, so theilt das Kupfer dem Zink noch + 66 E im Moment der Schliessung mit. Es geht also die Elektrizitätsmenge + 100 — 10 + 66 vom Kupfer durch den Schliessungsdraht zum Zink und von da durch die Flüssigkeit zum Kupfer. Indem nun die Berührung der Metalle und der Flüssigkeiten fortdauert, wird auch die Fortdauer dieses Stromes unterhalten. Bezeichnet man obige Elektrizitätsmengen durch E, E' und e, so ist also die im Strom bewegte Elektrizitätsmenge $U = E - E' + e$.

Nimmt man an, die elektromotorische Kraft von Zink in verdünnter Schwefelsäure werde durch die Zahl 149 ausgedrückt, so ist nach *Becquerel* die von nachstehenden Metallen in derselben Flüssigkeit, 50 Wasser auf 1 Schwefelsäure, bei : Zink 149, Quecksilber 149, Zinn 88, Blei 77, Eisen 71, Antimon 39, Wismuth 22, Nickel 16, Kupfer 13, Kohle — 16, Gold — 22, Platin — 32, Braunstein — 110. Indem die mit — bezeichneten positiv werden.

Auch in Beziehung auf die durch Berührung fester Körper entstehende Elektrizität hat schon *Volta* die Elektromotoren in folgender Reihe so zusammengestellt, dass jeder der vorhergehenden, wenn er einen der nachstehenden berührt, positiv-elektrisch, und dieser negativ-elektrisch wird, und dass die Elektrizitäts-Erregung um so grösser ist, je weiter sie von einander abstehen: Zink, Blei, Zinn, Eisen, Wismuth, Kupfer, Platina, Gold, Silber, Kohle, Reissblei, mehrere Kohlenarten und krystallisirter Braunstein.

Nach *Kohlrausch* ist, wenn man die elektromotorische Kraft zwischen Zink und Kupfer gleich 100 setzt, die zwischen Zink und Eisen 74,7. Zink und Kupfer 100, Zink und Silber 109, Zink und Gold 115, Zink und Platina 123, also wäre die Reihenfolge Zink, Eisen, Silber, Gold, Platina.

Man legte sonst dieser Reihe, welche man die Spannungsreihe

nennt, einen grossen Werth bei, indem man daraus die Richtung, welche der positive Strom in dem die Pole der Kette verbindenden Drahte nahm, abzuleiten suchte. Da jedoch die bestimmtesten Versuche lehren, dass die Einwirkung der Flüssigkeit auf die eingetauchten Metalle hauptsächlich entscheidet, welches von beiden der stärkere Elektromotor wird, so kann diese Richtung nur in Bezug auf bestimmte Flüssigkeiten angegeben werden. Am leichtesten erfährt man sie, indem man zwei gleichgrosse Platten der zu vergleichenden Metalle mit den Enden des Multiplicatordrahtes verbindet, und zugleich in eine Flüssigkeit eintaucht. Die Richtung, in welcher der Nordpol der Nadel abgestossen wird, bestimmt alsdann, von welchem Metalle der positive Strom herkommt, und welches also der schwächere Elektromotor in dieser Flüssigkeit ist, wenn beide Metalle einzeln in ihr negativ werden.

Drückt man die elektrische Differenz zwischen Zink und Kupfer durch die Zahl 100 aus, so ist sie nach *Kohlrausch*

zwischen Zink und verdünnter Schwefelsäure . = 149,
zwischen Kupfer und Kupfervitriollösung . . = 21,
zwischen Platin und concentrirter Salpetersäure = 149,

im letzten Fall wird, wie oben gesagt, Platina positiv.

Wenn also Zink in verdünnter Schwefelsäure steht, und Platina in concentrirter Salpetersäure, und beide Flüssigkeiten durch eine poröse Thonwand von einander getrennt aber leitend doch verbunden sind, so theilt Zink dem Platin $+ 149\,E$ und Platin dem Zink $- 149\,E$ mit. Da nun Zink für sich allein schon $- 149\,E$ in der Schwefelsäure, und Platin in Berührung mit der Salpetersäure $+ 149\,E$ annimmt, so ist die Elektrizitätsmenge am Zink $- 298\,E$ und am Platin $+ 298\,E$ in der offenen Kette. Wird diese durch einen Platindraht geschlossen, so theilt das Platin dem Zink noch $+ 100\,E$ in Folge des Metallcontactes mit. Es gehen also vom Platin durch den Schliessungsdraht zum Zink $+ 298 + 100$ oder $398\,E$, und vom Zink durch die Flüssigkeiten zum Kupfer eben so viel.

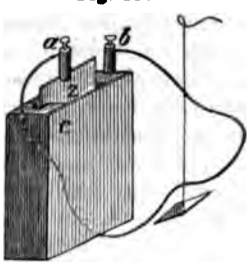
Die Flüssigkeiten lassen sich in der Spannungsreihe nicht nach demselben Gesetz einschalten, wie die Metalle, denn *Becquerel* hat durch Versuche mit dem Elektrometer gefunden, dass in Schwefelsäure oder einer Auflösung von Pottasche Platina positiv wird mit Gold, Silber, Kupfer, Eisen, Blei und Zink. Kupfer in denselben Flüssigkeiten wird negativ mit Gold, Silber, Platina, Blei, und positiv mit Eisen und Zink. In allen diesen Fällen ist also Zink der stärkere Elektromotor, und Platina der schwächere. Daraus scheint aber hervorzugehen, dass immer dasjenige Metall der stärkste Elektromotor ist, welches am meisten von der Flüssigkeit angegriffen wird. Doch stimmen damit nicht alle Experimentatoren überein.

§. 436.

Die Materialien, deren man sich zur Construction *einfacher Volta'*scher *Ketten* bedienen kann, sind sehr verschieden; ebenso die Form und Grösse derselben. Zu gewöhnlichen Versuchen bedient man sich nachstehender Apparate:

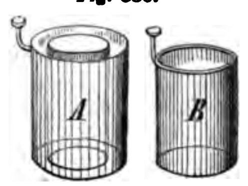
a) Der *Oersted*'sche *Trogapparat*, Fig. 535, besteht aus einem schmalen parallelepipedischen Troge *c* von Kupferblech, gewöhnlich 10 Zoll lang und hoch, aber nur 1 Zoll breit. In diesen setzt man eine Zinkplatte *z* von 9 Zoll Seite mit einem hölzernen Rähmchen so ein, dass der Zink das Kupfer nirgends berühren kann. Auf den Rand

Fig. 535.



der Zinkplatte und des Kupfertroges sind starke Drähte *a* und *b* von Kupfer gelöthet, welche durchbohrt und mit einer Schraube versehen sind, um einen durch das entstandene Loch gesteckten Draht festzuklemmen. Füllt man nun den Kupfertrog mit einer gesäuerten Flüssigkeit, so hat man eine offene Kette, das Kupfer hat $+ E$ und der Zink $- E$. Klemmt man aber die Enden eines Kupferdrahtes durch die beiden Schrauben *a* und *b*, so ist die Kette geschlossen.

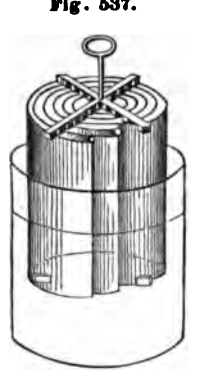
Fig. 536.



b) Dem vorhin beschriebenen Apparate gibt man auch eine cylindrische Form, wie in Figur 536. *A* ist der kupferne Trog, in welchen der hohle Zinkcylinder *B* gesenkt wird. Ein Holzring am Boden von *A* trägt den Zinkring *B*.

c) *Hare's* Apparat, Fig. 537, gestattet, den Metallen eine grosse Oberfläche zu geben, ohne dass sie viel Raum wegnehmen. Man rollt ein langes Stück Zinkblech und ein gleichgrosses Kupferblech, zwischen welche man ein eben so langes Stück Leder gelegt hat, spiralförmig zusammen, und nimmt nachher das Leder wieder heraus. Damit die Metallplatten sich nicht berühren, befestigt man oben und unten kleine hölzerne Stäbchen mit Einschnitten, in welche die metallenen Ränder passen. Diesen Apparat bringt man nachher in einen gläsernen Cylinder, welcher ohngefähr denselben Durchmesser hat, und giesst verdünnte Schwefelsäure hinein. Der Schliessungsdraht wird wie bei dem vorhin beschriebenen Apparate angebracht.

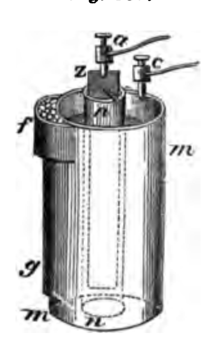
Fig. 537.



Bei allen eben beschriebenen Ketten nimmt die Wirkung schnell ab. Eine der wichtigsten Verbesserungen ist darum

d) die von *Daniell* erfundene *constante Kette*, Fig. 538, welche eine zweckmässige Abänderung der *Becquerel*'schen Kette ist. Sie besteht aus einem Cylinder *mm* von dünnem Kupfer, einem porösen Thoncylinder *nn* und einem amalgamirten Zinkstreifen *z*, welcher in dem Thoncylinder steht. Beide Metalle sind bei *a* und *c* mit Klemmschrauben versehen. Der Thoncylinder ist von einer feinen porösen Masse, die mit Wasser angefüllt, dieses nur in geringer Menge durchschweissen lässt. Er kann auch durch einen Cylinder von Segeltuch ersetzt werden. Der Kupfercylinder wird mit einer gesättigten Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd oder Kupfervitriol in Wasser, der Thoncylinder mit verdünnter Schwefelsäure angefüllt. Wegen der eintretenden Endosmose darf man den Kupfercylinder nicht voll machen, und um die Wirkung gleichförmig zu er-

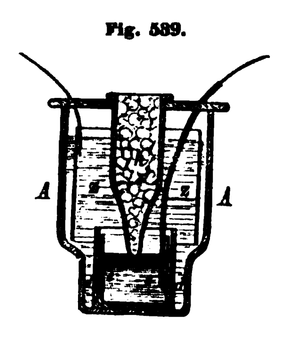
Fig. 538.



halten, wird ein leinenes Säckchen mit Kupfervitriol-Krystallen in die Vitriollösung gehängt, oder es ist neben dem Cylinder *mm* ein kupfernes Rohr *g* angelöthet, welches mit dem noch weitern Gefäss *f* in Verbindung steht. Beide sind mit Kupfervitriol-Krystallen gefüllt, und durch Löcher mit *mm* verbunden. Sobald diese Kette geschlossen ist, schlägt sich metallisches Kupfer an dem äussern Cylinder nieder. Es muss also der Sauerstoff des Kupferoxyds frei werden, und da bei diesem Apparat an dem Kupfer keine Wasserstoffbläschen aufsteigen, sich mit dem Wasserstoff zu Wasser verbinden. Dieses Wasser löst neuen Kupfervitriol auf, aus dem sich wieder metallisches Kupfer an dem äussern Cylinder niederschlägt u. s. w. Der Zink wird wie bei den früheren Ketten oxydirt, und löst sich als Zinkoxyd in der Schwefelsäure auf. Durch den Niederschlag des Kupfers aus dem Vitriol wird aber Schwefelsäure frei, und diese dringt durch die Poren des Thoncylinders um neues Zinkoxyd aufzulösen u. s. w. Daher bleibt die Wirkung einer solchen Kette während mehrerer Stunden constant. Stellt man sie in heisses Wasser, so ist ihre Wirkung viel grösser. Die Zinkcylinder giesst man, zur Vergrösserung ihrer Oberfläche, auch in Form von Prismen, deren Querschnitt ein Kreuz ist. Auf den Thonzellen schlägt sich nach längerem Gebrauch Kupfer nieder und schwächt die Wirkung. Nach *Fr. Place* ist die Ursache davon das Anhaften von Zinkschlamm an den Wänden der Zelle und das Durchzogensein der Thonzelle durch Kupfervitriole, indem diese gleichfalls ein Volta'sches Element bilden und die Reaction des Kupfers veranlassen.

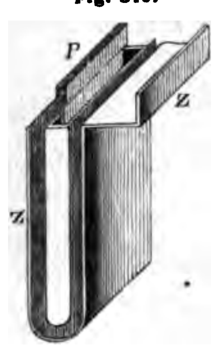
Um dieses zu verhindern, hat *Meidinger* der Kette folgende Einrichtung gegeben: In dem Cylinderglas *AA*, Fig. 539, welches unten etwas enger ist, ruht auf dem entstandenen Vorsprung der Zinkcylinder *zz*. Auf den Boden des Glases ist ein kleineres cylindrisches Glas *dd* angekittet, welches den Kupfercylinder *ee* aufnimmt, von dessen unterem Ende ein mit Guttapercha überzogener Streifen *ke* über das Glas *AA* hervorragt. Der Holzdeckel *mm* hat oben ein rundes Loch, welches den nach unten zugespitzten Glascylinder *h* aufnimmt. Der letztere ragt bis in das Gefäss *dd* hinab und hat unten ein kleines Loch. Das grosse Glas wird mit verdünnter Bittersalzlösung, die Röhre *h* mit Kupfervitriolkrystallen angefüllt. Indem sich letztere auflösen, kommt ihre Lösung, die schwerer als die übrige Flüssigkeit ist, in Berührung mit dem Kupfer *ee*. Eine Verbreitung dieser Lösung bis in die Nähe des Zinks findet nur sehr langsam statt, und desshalb auch kein Niederschlag des Kupfers auf diesem. Diese Kette ist sehr constant und wird häufig bei den Telegraphen verwendet.

Fig. 539.



e) *Grove's* constante Kette, Fig. 540, besteht aus amalgamirtem Zink und Platinblech. Die Zinkplatte *ZZ* ist gebogen und steht in einem Trog von Thon, Glas oder Holz. In dem Zwischenraum zwischen den beiden Seiten der umgebogenen Zinkplatte befindet sich ein prismatischer Trog von porösem Pfeifenthon, und in diesen taucht das

Fig. 540.



Platinblech *P*. Der Trog, in welchen das Platinblech taucht, wird mit reiner Salpetersäure angefüllt, der Zinktrog mit verdünnter Schwefelsäure. Die Vergleichung der Zink-Platin- und der Kupfer-Zink-Ketten, welche Jacobi angestellt hat, ergibt, dass man nur 6 □Zoll Platinfläche bedarf, um eine Säule von 100 □Zoll Kupfer zu ersetzen. Demnach sind die Grove'schen Ketten allen andern an Wirksamkeit vorzuziehen. Diese starke Wirkung rührt daher, dass der Zink nach §. 435 in der Schwefelsäure die elektrische Spannung — 149 und Platina in der Salpetersäure + 149 annimmt. Ihre Differenz daher = 298 oder grösser als bei jeder andern Combination ist. Die Anschaffung ist zwar kostspieliger, aber da die Platina sich nicht abnutzt, so behält sie immer ihren Werth. Man kann ihnen auch die Form der Daniell'schen Ketten geben, indem man ein cylindrisches Glasgefäss, Fig. 541, nimmt, in dieses einen Ring *Z* von Zink stellt, und in den Zink einen Thoncylinder *T*. Der Thoncylinder nimmt dann das Platinblech auf, welches man zur Vergrösserung seiner Oberfläche *S*-förmig umbiegt, wie in Fig. 542. Das hervorragende Ende des Platinstreifens wird, wie in Fig. 542, zwischen das rechtwinklicht umgebogene Kupferblech *kk* geklemmt. Letzteres ist auf einen Deckel von Thon gekittet, welcher auf den Thoncylinder *T T* passt, und das Aufsteigen der salpetrigsauren Dämpfe verhindert.

Fig. 541.

Fig. 542.

Fig. 543.



Statt der Platina hat zuerst *Cooper* Graphit und Kohle, und *Schönbein* die aus den Retorten, welche zur Bereitung des Leuchtgases gedient haben, gewonnene Coaksmasse angewendet. Diese Einrichtung ist erst in der *Bunsen*'schen *Kette* zur allgemeinen Anwendung gekommen, Fig. 543. Sie hat gleichfalls eine constante Wirkung, ist nicht so bequem aber wohlfeiler als die Grove'sche, und besteht nach der neueren Einrichtung aus einem Glasgefäss, welches sich nach oben verengt, einem hohlen Coakscylinder *dd*, der unten offen ist und zum Entweichen des an ihm sich innen entwickelnden salpetrigsauren Gases schräg nach unten gehende Löcher hat; ferner aus einem porösen Thoncylinder *c c* und einem im Querschnitt

kreuzförmigen Zinkstück *z* von gleicher Höhe. An den Kohlencylinder ist oben ein Kupferring gekittet, der stark gefirnisst ist und bei *a* einen Bügel mit einer Schraube *r* hat, um einen Kupferdraht, der in ein Plättchen sich endigt, an den Coakscylinder anzudrücken. An den Zink ist ein gleicher Kupferdraht gelöthet. Die Coakscylinder stellte *Bunsen* dar, indem er 2 Theile Backkohlen mit 1 Theil Coaks in einer Eisenblechform glühte und nachher mit einer concentrirten Zuckerlösung oder mit Steinkohlentheer tränkte, und in der obigen Form nochmals zum Weissglühen brachte. Bei der *Ruhmkorff*'schen Abänderung ist der Zink wie in Fig. 540 mit Auslassung des horizontalen Randes gebogen, und in dem Thontrog befindet sich eine ebene Coaksplatte, die auf ähnliche Weise bereitet ist. Diese Kette steht in einem Porzellantrog.

Bei beiden Arten enthält das Gefäss in dem die Kohle steht, concentrirte Salpetersäure. Der Zink ist in 1 Theil Schwefelsäure auf 4 Theile Wasser eingetaucht. Wenn man den Kohlencylinder vor dem Gebrauch in concentrirte Salpetersäure eintaucht und dann an der Luft etwa einen halben Tag stehen lässt, so ist diese Kette nach *Böttger* wirksamer und auf längere Zeit thätig als sonst.

Callan's Kette ist der *Grove*'schen nachgebildet. Statt Platin steht dem Zink platinirtes Blei gegenüber, und statt der reinen Salpetersäure enthält der Trog für das Blei ein Gemisch von 4 Gewichtstheilen concentrirter Schwefelsäure, 2 Theilen Salpetersäure und 2 Theilen gesättigter Salpeterlösung. Diese Batterie ist in ihren Wirkungen der *Grove*'schen gleich und viel wohlfeiler. Auch gestattet diese Batterie die Anwendung einer verdünnteren, sonst nicht mehr brauchbaren Salpetersäure; aber wenn das Blei an irgend einer Stelle nicht von Platina bedeckt ist, so wird es sehr schnell zerstört. Bei der *Smee*'schen Kette steht dem Zink platinirtes Silber in verdünnter Schwefelsäure gegenüber. Eine sehr wirksame Kette ist die von Zink und Kupfer in einer Lösung von doppelt-chromsaurem Kali. Statt Zink und Kupfer hat *Roberts* Gusseisen und Kupfer angewendet, und bei kurzen Leitungen dadurch einen stärkern Strom erhalten, bei längern aber war er schwächer, auch wenn man verdünnte Salpetersäure oder Kochsalzlösung anwendet.

Eine Kette, die mehrere Monate lang constant wirkt, ohne jedoch einen starken Strom zu geben, aber zu vielen Zwecken sehr nützlich ist, erhielt ich dadurch, dass der Thoncylinder einer Zinkkupferkette mit Wasser und reinem Weinstein im Ueberschuss gefüllt wurde. Das Kupfer steht in einer Mischung aus 5 Raumtheilen engl. Schwefelsäure und 100 Theilen Wasser. Ein Säckchen mit Weinstein hängt in dem Thoncylinder und ein umgestürztes, mit Wasser gefülltes Arzneiglas ersetzt das in ihm verdunstende Wasser. Eine andere Kette, die selbst bei beständiger Schliessung lange constant bleibt, aber bei abwechselndem Oeffnen und Schliessen nicht so lange, als die obige, erhält man, wenn nebst dem Weinstein statt der verdünnten Schwefelsäure eine aus gleichen Theilen gesättigter Kupfervitriollösung und reinen Wassers zusammengesetzte Mischung genommen wird.

§. 437.

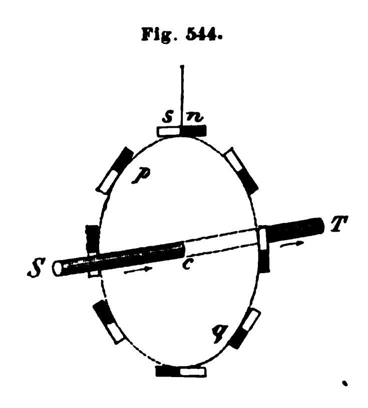
Durch eine der obigen einfachen Ketten kann man die leuchtenden, erwärmenden und magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes vorläufig kennen lernen.

Bringt man die Enden zweier Drähte, welche an dem Zink und Kupfer oder an dem Zink und der Platina oder Kohle durch Schraubenklammern befestigt sind, mit einander in Berührung, so zeigt sich bei ihrer Trennung ein heller Funke, der besonders hell ist, wenn die Drahtenden amalgamirt sind. Wendet man einen dünnen Schliessungsdraht an, so wird dieser stark erhitzt. Platin und Eisendraht, welche schlecht leiten, werden glühend und schmelzen unter Funkensprühen.

Der Einfluss einer solchen Kette auf die Magnetnadel ist so stark, dass man schon mit einem einfachen Schliessungsdraht von hinreichender Länge die Gesetze nachweisen kann, nach welchen die Magnetnadel durch den elektrischen Strom abgelenkt wird. Führt man einen solchen Schliessungsdraht, in welchem nach §. 434 die positive Elektrizität vom Kupfer zum Zink strömt, nahe bei einer in ihrem Schwerpunkt aufgehängten Magnetnadel, wie in Fig. 535, Seite 558, vorüber, und stellt man sich vor, *man schwimme in dem Strome positiver Elektrizität, den Kopf voran, und habe das Gesicht gegen die Nadel gerichtet, so wird der Nordpol der Nadel stets links abgelenkt.* Geht der Draht z. B. unter der Nadel durch, so muss man sich vorstellen, man schwimme auf dem Rücken u. s. w. Dieses merkwürdige Gesetz wurde im Jahr 1820 von *Oersted* entdeckt und ist seitdem die Quelle vieler anderer Entdeckungen geworden. Man sieht leicht ein, wie man nun aus der Lage eines Schliessungsdrahtes gegen eine Magnetnadel und aus der Richtung, in welcher der Nordpol der Magnetnadel abgestossen wird, auch die Richtung, welche der positiv-elektrische Strom in dem Schliessungsdrahte haben muss, finden kann. Eben so ist es nun selbstverständlich, dass ein gebogener Schliessungsdraht, der bei unveränderter Länge über und unter der Magnetnadel den positiven Strom in zwei entgegengesetzten Richtungen vorbeileitet, den Nordpol durch beide Wirkungen mit doppelter Kraft nach derselben Richtung abstossen muss. Wenn man die Magnetnadel über verschiedene Stellen desselben Schliessungsdrahtes in gleichem Abstand aufhängt, so findet man, dass ihre Ablenkung bei unveränderter Stärke des Stromes stets die nämliche bleibt, woraus also folgt, dass *in einem Schliessungsdraht die Kraft des elektrischen Stromes überall dieselbe ist.*

Das von *Oersted* entdeckte Gesetz kann man auch so ausdrücken: Wenn in Fig. 544, pq ein zur Richtung eines Stromes ST senkrechter Kreis, und c der Mittelpunkt desselben ist, und man denkt sich, es werde an der Peripherie dieses Kreises eine Magnetnadel sn herumgeführt, die in ihrem Schwerpunkt aufgehängt, und sonst keinen andern Kräften als denen des Stromes unterworfen ist, so wird die Nadel stets sich so stellen, dass sie Tangente dieses Kreises wird, und dass, wenn man den Kreis von der Seite S betrachtet, auf welcher der Strom sich ihm nähert, der Nordpol n der Nadel oben rechts liegt; alle darauf folgenden Stellungen aber mit den vorhergehenden, wie in Fig. 484, pag. 487, gleichsam eine Kette bilden, in welcher dem Nordpol stets ein Südpol gegenüber steht.

Fig. 544.

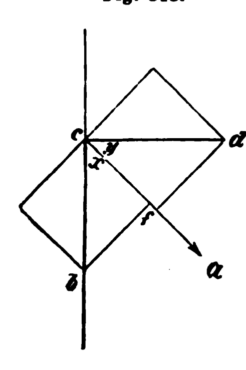


§. 438.

Unter dem Einfluss des Erdmagnetismus kann sich die Magnetnadel nicht senkrecht zum Strom stellen. Je stärker aber dieser elektrische Strom ist, desto mehr nähert sie sich dieser Stellung. Eine bei-

nahe astatische Nadel nimmt darum auch bei einem schwachen Strome diese Lage leicht an. Man kann desshalb bei dem Winkel, um welchen die Magnetnadel abgelenkt wird, auf die Stärke des Stromes schliessen. Der einfachste Fall ist der, wenn bei jeder Lage der Magnetnadel gegen den Strom, die Wirkung des letztern dieselbe bleibt. Dieser tritt ein, wenn ein breiter Kupferstreifen in allen seinen Theilen gleichförmig durchströmt wird, und die nahe darüber hängende Magnetnadel eine Länge hat, welche den vierten bis fünften Theil jener Breite beträgt, weil alsdann die Wirkung der entfernteren Stromtheile des Kupferstreifens, im Verhältniss zu der Wirkung der näheren, verschwindend klein ist. Nimmt man nun an, in Fig. 545 sei cb die Richtung und Grösse der erdmagnetischen Kraft T, also cd die Richtung, welche der elektrische Strom der Magnetnadel zu geben sucht, und ca die Richtung, welche die Magnetnadel nach erfolgter Ablenkung annimmt, so ist x der Ablenkungswinkel, und y der Winkel, welchen die zum Strom senkrechte Kraft $S = cd$ mit der Nadel bildet. Zerlegt man nun die beiden Kräfte bc und cd in solche, welche zur Nadel senkrecht und damit parallel sind, so wird $bf = T \sin x$ und $df = S \sin y$. Diese Kräfte wirken einander entgegen, und müssen für den Zustand des Gleichgewichtes der Nadel einander gleich sein, weil die mit der Nadel parallelen Kräfte keinen Einfluss auf ihre Drehung haben. Daher ist

Fig. 545.



$$T \sin x = S \sin y.$$

Dieses Gesetz gilt für den Fall, dass die magnetische Kraft der Nadel $= 1$ angenommen wird, während die der Erde $= T$ und die Richtkraft des Stromes $= S$ ist. Für eine Nadel, deren magnetische Kraft $= M$ ist, wird die Kraft $bc = MT$ und $cd = MS$, folglich

$$MT \sin x = MS \sin y.$$

Der Winkel x und y betragen zusammen 90^0, wenn die Richtung des Stromes mit dem magnetischen Meridian bc zusammenfällt. Dann ist aber $\sin y = \cos x$, folglich

$$T \sin x = S \cos x.$$

Bei der Anwendung dieser Formeln sind nun folgende Fälle zu unterscheiden:

1) Man lässt den Strom nur in der Richtung des magnetischen Meridians auf die Nadel wirken, so ist

$$S = T \frac{\sin x}{\cos x} = T \,.\, \text{tg}\, x.$$

Bei derselben Magnetnadel und einem andern Strome S^1 und dem Ablenkungswinkel x^1 hat man also

$$S' = T \,.\, \text{tg}\, x' \text{ folglich}$$
$$S : S' = \text{tg}\, x : \text{tg}\, x'$$

oder die *Stromstärken verhalten sich wie die Tangenten der Ablenkungswinkel.* Dieses Gesetz gilt auch noch für den Fall, dass der Kupferstreifen nicht so breit ist, aber die Nadel in einer Entfernung umgibt, welche 12 bis 15mal so gross als die Länge der Nadel ist. Hierauf

beruht die *Tangenten-Boussole*, welche besonders zur Messung starker Ströme geeignet ist.

2) Man gibt zuerst dem elektrischen Strome die Richtung des magnetischen Meridians, und dreht ihn alsdann so lange in der Richtung, in welcher die Magnetnadel abgelenkt wurde, bis der Strom und die Nadel einerlei Richtung haben. Der Winkel, welchen die Nadel mit dem Meridian bildet, sei wieder $= x$. Der Winkel, welchen sie mit dem Strome bildet, oder das frühere $90^0 - y$ ist dann $= 0$ oder $\sin y = 1$, folglich

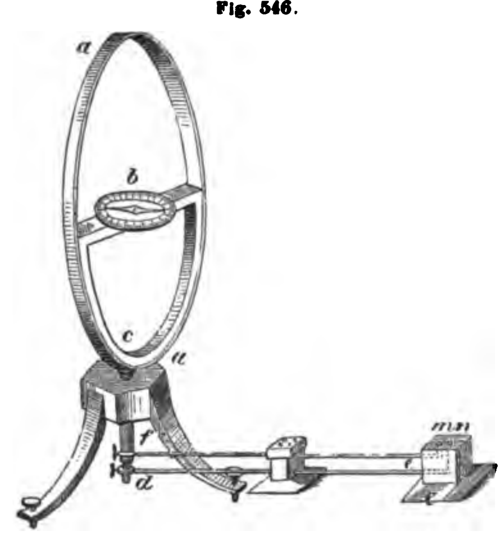
$$S = T \sin x.$$

In diesem Falle sind also bei derselben Nadel die *Stromstärken proportional dem Sinus des Ablenkungswinkels.* Hierauf beruht die *Sinus-Boussole.*

3) Der Strom wird, wie bei dem früher beschriebenen *Galvanometer* (Fig. 514, Seite 525), durch einen Multiplicatordraht geleitet. In diesem Falle steht der Ablenkungswinkel mit der Stromstärke und dem Erdmagnetismus in einem complicirten Verhältniss; doch hat *Poggendorff* gezeigt, dass auch dieses Instrument zu genaueren Messungen benutzt werden kann. Zu Strömen, welche nur einen geringen Widerstand überwinden können, müssen *Galvanometer* mit kurzen aber dicken Drähten und sehr empfindlichen astatischen Nadeln angewendet werden. Bei Strömen, die einen beträchtlichen Widerstand zu besiegen vermögen, aber eine geringe Elektrizitätsmenge besitzen, dienen *Galvanometer* mit vielen Windungen, also einem sehr langen Draht. Bei grosser Empfindlichkeit wird der Multiplicator ein *Galvanoscop. Fechner* hat als einfachstes Galvanometer einen nur einmal gebogenen Kupferstreifen angewendet, und zu andern Zwecken dem Multiplicator 16000 bis 20000 Windungen gegeben.

Die *Tangenten-Boussole,* Fig. 546, besteht nach der Verbesserung von *W. Weber* aus einem grossen und kreisförmigen Kupferstreifen *aa*, in dessen Mitte sich ein Compass *b* befindet, dessen Nadel wenigstens 12mal kleiner ist, als der Durchmesser des Kreises. Die Zuleitung des Stromes geschieht durch eine Klemmschraube bei *n*, den untern Kupferdraht *de* und einen vertikal aufwärtsgehenden Stab *dc*. Von hier geht der Strom durch den Ring *aa* und wird durch eine kupferne Röhre *cf*, welche den obigen Stab umgibt, ohne ihn zu berühren, und durch den Draht *fm* abgeleitet. Der Kreis *aa* wird in der Ebene des magnetischen Meridians aufgestellt und die Ablenkung der Kompassnadel entweder unmittelbar beobachtet, oder bequemer die Ablenkung einer sehr leichten und langen Kupfernadel, welche senkrecht zu jener in horizontaler Lage an die Magnetnadel befestigt ist.

Fig. 546.



Da nach §. 437 jedes Strom-Element des im magnetischen Meridian aufgestellten Ringes der Tangenten-Boussole die Compassnadel senkrecht

zu diesem Kreisring zu stellen sucht, und alle Theile dieses Ringes gleichweit von ihr entfernt sind, so haben auch alle Theile des Stromes gleiche Wirkung auf sie. Denkt man sich die Wirkung eines Stromelements von der Länge 1 und von der Stärke s auf eine Magnetnadel von der Magnetkraft 1, in der Entfernung 1 sei s, so ist sie in der Entfernung r, welche dem Radius des obigen Ringes entsprechen mag, $= \frac{s}{r^2}$ und für eine Nadel von der Magnetkraft m ist sie $= \frac{ms}{r^2}$. Die Wirkung aller Strom-Elemente oder der ganzen Peripherie des Ringes ist $2 r \pi$ mal so gross, und heisse Q, so ist

$$Q = \frac{2 r \pi m s}{r^2} = \frac{2 \pi\, m s}{r}.$$

Diess ist also die Kraft, welche die Nadel senkrecht zum magnetischen Meridian stellt.

Nach §. 404, Anm., sucht aber der Erdmagnetismus T eine Nadel von der Magnetkraft m in den magnetischen Meridian zurückzuführen, mit der Kraft Tm, und nach §. 403 ist das Verhältniss dieser beiden Kräfte Q und Tm gleich der Tangente des Ablenkungswinkels u; folglich ist

$$\operatorname{tg} u = \frac{Q}{Tm} = \frac{2 \pi\, m s}{r\, T m} = \frac{2 \pi s}{r T}.$$

Es ist also auch die Stromstärke von einem Element des Ringes oder

$$s = \frac{r T \operatorname{tg} u}{2 \pi}.$$

Man sieht daraus, wie bei Anwendung einer und derselben Tangenten-Boussole die Stromstärke mit dem Erdmagnetismus und dem Ablenkungswinkel zusammenhängt, und warum für denselben Ort, also für dieselbe Stärke des Erdmagnetismus, sich die Stromstärken verhalten wie die Tangenten der Ablenkungswinkel der Magnetnadel.

Das im §. 415 beschriebene *Galvanometer,* Fig. 514, ist zu unvollkommenen Messungen galvanischer Ströme auf verschiedene Arten angewendet worden, die gelegenheitlich erwähnt wurden. Durch das Verfahren, welches *Poggendorff* angegeben hat, kann es aber auch zu genauen Messungen gebraucht werden. Zu diesem Zweck muss der Träger ef, an welchem die Nadel hängt, auf der Scheibe des Horizontalkreises angebracht sein, und ein feststehender Zeiger r die Richtung der Windungen gegen den magnetischen Meridian angeben. Das Rähmchen, um welches die Drähte gewunden sind, kann, um die Stellung der Windungen zu ändern, durch eine Schraube ohne Ende mittelst des Knopfes k gedreht werden. Wenn nun zwei Ströme hinsichtlich ihrer Stärke verglichen werden sollen, so stellt man das Galvanometer so auf, dass die Richtung der Windungen in den magnetischen Meridian fällt. Die Nadel und der feststehende Zeiger r müssen alsdann auf dem Nullpunkt des getheilten Kreises stehen. Wird nun durch den stärkern Strom S beim ersten Versuch die Nadel um n Grade *rechts* abgelenkt und durch den schwächern Strom S' bei einem zweiten Versuche um n' Grade, so kann man bei einem dritten Versuch die Windungen so weit *links* drehen, dass bei Anwendung des schwächern Stromes die Nadel mit ihnen auch einen Winkel von n Graden bildet. Der Winkel, welchen alsdann die Magnetnadel mit dem Meridian bildet, sei m' Grade. Die Kraft k, mit welcher der Strom S bei dem ersten Versuch die Magnetnadel ablenkt, war nach dem frühern $= S \cos n$ und die Kraft k', mit welcher der Strom S' sie ablenkt, bei dem dritten Versuch $= S' \cos n$. Da aber hier die Ströme unregelmässig einwirken, weil sie in den Windungen nicht so gleichförmig vertheilt sind, als früher in dem Kupferstreifen, so ist *die ablenkende Kraft der Ströme zwar bei gleicher Neigung der Nadel gegen die Windungen dieselbe Funktion des Winkels,* aber nicht gerade der Cosinus. Diese Funktion sei $f(n)$, so ist

$$k = S \,.\, f(n) \text{ und } k' = S' \,.\, f(n).$$

Die Kräfte, welche beim ersten und dritten Versuch die Nadel vermöge des Erdmagnetismus T in den Meridian zurückzuführen suchen, sind dieselben, und weil der Ablenkungswinkel im ersten Fall n, im zweiten m' beträgt, so ist nach dem Frühern, wenn die magnetische Kraft der Nadel $= 1$,

$$k = T \sin n \text{ und } k' = T \sin m'$$

folglich

$$S \,.\, f(n) = T \sin n \text{ und } S' \,.\, f(n) = T \sin m'$$

daher

$$S : S' = \sin n : \sin m'.$$

Macht man mit dem stärkern Strom S noch einen vierten Versuch, bei welchem die Windungen so lange *rechts* gedreht werden, bis die Nadel mit ihnen den Winkel n' bildet, und ist alsdann der Winkel, welchen die Nadel mit dem Meridian bildet, $= m$ Grade, so hat man ebenso

$$S : S' = \sin m : \sin n'.$$

Aus der Uebereinstimmung der Verhältnisse

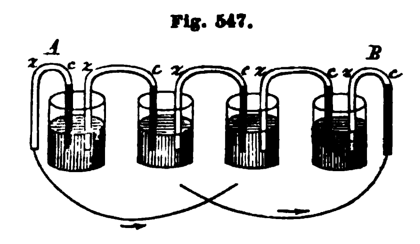
$$\sin n : \sin m' \text{ und } \sin m : \sin n'$$

ergibt sich die Genauigkeit der Beobachtungen und dieser Theorie des Galvanometers. Besonders schön lässt sie sich unter andern an dem Melloni'schen Apparat nachweisen, wenn man die in verschiedenen Entfernungen von einer constanten Wärmequelle entstehenden Ströme vergleicht.

§. 439.

Wenn man, wie in Fig. 547, eine Anzahl einfacher Ketten so mit einander verbindet, dass in jedem Gefässe eine Zinkplatte z einer Kupferplatte c gegenüber steht, so erhält man eine *zusammengesetzte Kette*. Auch in dieser geht der Strom der positiven Elektrizität vom Kupfer des ersten Gefässes durch den Schliessungsdraht zum Zink im letzten; nur wird die Wirkung desselben durch die Anzahl der Kettenglieder vergrössert. Man sieht leicht ein, dass, wenn man je zwei metallisch mit einander verbundene Platten als *ein Paar* oder Element betrachtet, jedes Paar von dem folgenden durch die Flüssigkeit getrennt ist, und dass also, wenn man den feuchten Leiter durch F bezeichnet, folgendes Schema die Construction der zusammengesetzten Kette ausdrückt:

Fig. 547.



ZCFZCFZCF.....

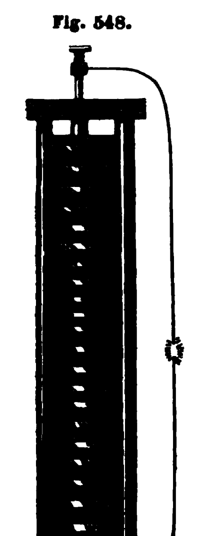
Da jedoch die erste Zinkplatte und die letzte Kupferplatte mit der Flüssigkeit nicht in Berührung stehen, so wirkt nur der Contact derselben auf die mit ihnen verbundenen Metalle. Nun geht zu dem Zink des ersten Elementes links, im Moment der Schliessung durch einen Kupferdraht, eben so viel positive Elektrizität nach der einen Richtung, als von dem mit dem ersten Zink verbundenen Kupfer nach der andern. Diese Wirkungen heben sich also auf. Desshalb ist das erste Zinkstück ohne Wirkung. Das letzte Kupferstück rechts kann schon desshalb wegbleiben, weil es von gleichem Metall mit dem Schliessungsdraht ist. Fallen diese beiden weg, so ist das Ende A der Kette, von welchem der positive Strom durch den Schliessungsdraht geht, alsdann Kupfer, und das Ende B schliesst mit Zink. Dessen ungeachtet heisst bei Manchen noch das erste der *Zinkpol*, das letzte der *Kupferpol*. Am besten ist es, A den *positiven Pol* und B den *negativen Pol* zu nennen.

Nimmt man an, die elektromotorische Kraft des Metallcontactes sei zwischen Zink und Kupfer e, zwischen Zink und Flüssigkeit E und zwischen Kupfer und Flüssigkeit E', so gibt ein Element der zusammengesetzten Kette, Fig. 547, an alle links liegenden nach §. 435 ab die Elektrizitätsmenge $U = + e + E - E'$, und an alle rechts liegenden $- e - E + E'$, also wird bei n Elementen die links angehäufte Elektrizitätsmenge $n\,(e + E - E')$ und rechts $n\,(- e - E + E')$.

Es gibt sehr verschiedene Arten von zusammengesetzten Ketten:

1) Die älteste ist die *Volta*'sche *Säule*, Fig. 548, welche, nach so manchen Verbesserungen, nur noch selten angewandt wird. Man löthet Platten von 1 bis 4 Zoll Durchmesser an einander und legt sie dann zwischen zwei Glassäulen so auf einander, dass zwischen jedes Plattenpaar eine Filz- oder Tuchscheibe von etwas kleinerem Durchmesser zu liegen kommt, welche in einer Auflösung von Kochsalz in Essig oder von Salmiak in Wasser gehörig eingeweicht worden ist. Liegt in dem ersten Plattenpaare der Zink unten, so muss dieses in jedem folgenden auch der Fall sein, damit immer ein kräftiger Elektromotor einem schwächern gegenüber steht. Die getränkte Filz- oder Tuchscheibe vertritt die Stelle der Flüssigkeit zwischen den gegenüberstehenden Enden der Kettenglieder, und es muss daher bei der Verbindung des Zinkendes mit dem Kupferende durch einen Draht, der Strom der positiven Elektrizität ebenfalls von dem ersteren zu dem letzteren gehen. Wenn man mehr als 40 bis 50 Plattenpaare auf einander setzt, so werden die Tuchscheiben durch den Druck zu stark angepresst, und man baut daher bei 100 Plattenpaaren zwei Säulen in umgekehrter Ordnung auf.

Fig. 548.



2) Der *Volta*'sche *Becherapparat*. Dieser besteht aus einer Anzahl becherförmiger Gläser, welche mit einer verdünnten Säure gefüllt sind. Die Kettenglieder sind starke Kupferdrähte von 7 bis 8 Zoll Länge, an deren eines Ende eine Zinkkugel gegossen ist. Die Zinkkugel kommt auf den Boden des Glases zu liegen und der Kupferdraht des nächsten Kettengliedes fängt in 1/2 Zoll Entfernung davon an. Dieser Apparat ist wohlfeil und leicht zu reinigen; es müssen aber wenigstens 50 Becher sein, und auch dann gibt er wenig aus. Das Ende des Kupferdrahtes von jedem Gliede kann man zur Verstärkung der Wirkung spiralförmig winden. Sehr wirksam sind Becherapparate von Eisen und Zink.

3) Die ehemals gebräuchlichen *Trogapparate* beruhten darauf, dass man glaubte, die einzelnen Elemente der Säule müssten in getrennten Zellen stehen. *Faraday* hat jedoch bewiesen, dass diess nicht nöthig ist, obwohl es die Kette schwächt. Doch wird *Wollaston's* Batterie, Fig. 549, wegen ihrer zweckmässigen Anordnung noch häufig gebraucht. Die Kupferplatten *cc* sind um die Zinkplatten *zz* gebogen und schliessen sie also von zwei Seiten ein. Alle Platten sind an eine Holzleiste *mn* befestigt, und können also zugleich in den Trog *T*, Fig. 550, eingetaucht werden. Letzterer ist mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt. An die erste Kupferplatte ist der Draht *a*, Fig. 549, gelöthet, die erste Zinkplatte aber steht mit der zweiten Kupferplatte durch einen Kupferstreifen in Verbindung. Die Zink- und Kupferplatten, welche in demselben Gefässe stehen, sind durch Holzstücke in einem kleinen Abstand von einander getrennt. An die letzte Zinkplatte ist der Draht *b* gelöthet. Will man Gebrauch von dieser Kette machen, so giesst man verdünnte Schwefelsäure in die Zellen des Porzellantrogs *T*, Fig. 550, und taucht die Plattenpaare von Fig. 549 hinein, indem man sie an der Holzleiste *mn* hält.

Fig. 549.

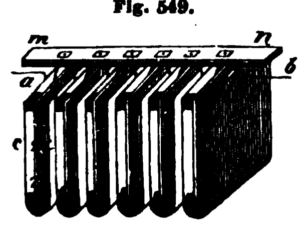
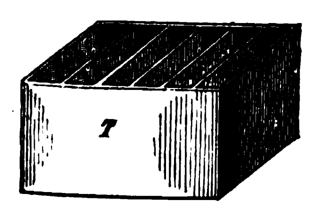


Fig. 550.



4) Wenn man mehrere der im §. 436 beschriebenen *Oersted*'schen *Tröge* dadurch verbindet, dass man die an die Zinkplatte jedes Gliedes gelöthete Klemmschraube mit der Klemmschraube des nächsten Kupfertroges durch einen Kupferdraht in Verbindung setzt, so erhält man auch eine zusammengesetzte Kette; eben so durch die Verbindung mehrerer *Hare*'schen spiralförmigen Kettenglieder. Verbindet man dagegen alle Zinkplatten und alle Kupferplatten unter sich, so entsteht daraus eine

einfache Kette. Diese wirkt ohngefähr wie eine andere einfache Kette von eben so grosser Oberfläche, und ist in den meisten Fällen sehr nützlich, wo man eine grosse Menge Elektrizität von geringer Spannung hervorbringen will. Man sieht daraus, dass man diese Apparate sowohl als einfache, wie als zusammengesetzte Kette gebrauchen kann.

5) Folgender Apparat von *Faraday* beruht auf dem oben sub. No. 3 von ihm angeführten Satze. Die einzelnen Plattenpaare werden auf die in Fig. 551 angegebene Art aus gewalztem Zink und Kupfer geschnitten. *A* ist eine Zinkplatte und *B* eine daran gelöthete Kupferplatte von doppelter Länge. Die Kupferplatte wird auf die in Fig. 552 angegebene Art gebogen, und die einzelnen Paare auf die in Fig. 553 angedeutete Weise in einander geschoben. Die Berührung zwischen Zink

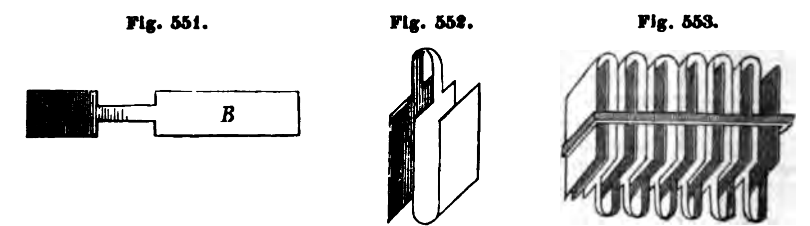


Fig. 551. Fig. 552. Fig. 553.

und Kupfer wird durch eingeschobene kleine Korkstückchen verhindert, und die der Kupferplatten unter sich durch eine doppelte Lage schwarzen Pack- oder Kartenpapiers. Zwei Brettchen werden an beiden Enden angelegt und durch vier Stäbchen verbunden. Die Enden dieser Stäbchen sind mit Schrauben versehen, um die Plattenpaare so viel als möglich an einander drücken zu können. Ueber die obern Biegungen der Kupferstreifen geht eine damit verbundene Holzleiste, um die ganze Säule in einen Trog mit gesäuerter Flüssigkeit senken und nach gemachtem Gebrauch schnell wieder herausheben zu können. In der *Faraday*'schen Kette haben die Zinkplatten gewöhnlich 4 □Z. Oberfläche. Man kann mehrere *Faraday*'sche Ketten zu einer einzigen verbinden, und auf die oben angegebene Art entweder nur die Menge oder die Spannung der Elektrizität erhöhen. Aehnliche Constructionen haben Andere versucht.

Auch in den zusammengesetzten Ketten ist die Anwendung der amalgamirten Zinkplatten oder reinen Zinks von grossem Nutzen; indem alsdann alles Wasserstoffgas nur an dem Kupfer, und wenn man Platin statt des Kupfers nimmt, nur an diesem sich entwickelt und der Zink weit weniger angegriffen wird. Auch geht ein Theil der chemischen Kraft der Säule durch unreinen Zink verloren. Da die Wirkung der Kette beim ersten Eintauchen am kräftigsten ist, so ist es wichtig, dass alle Platten gleichzeitig eingetaucht werden, und da die schwächere Wirkung eines Paares auch eine Schwächung in der Wirkung der übrigen zur Folge hat, so ist es nothwendig, dass sowohl die Säure gleichförmig gemischt ist, als dass alle Platten von gleicher Grösse und Reinheit sind. Die Mischung selbst ist sehr verschieden. Fast allgemein wendet man 200 Theile Wasser auf $4\frac{1}{2}$ Theile Schwefelsäure und 4 Theile Salpetersäure an. Das Wasser allein wirkt nur sehr schwach; durch ein Salz wird es wirksamer. Salpetersäure wirkt dagegen kräftiger als Schwefelsäure; Salzauflösungen wirken am längsten. Die Elektrizität einer einzelnen Kette erreicht nie eine grosse Spannung, und wird sehr geschwächt, wenn die Platten weit aus einander stehen, weil die Flüssigkeit, durch welche der Strom gehen muss, ein schlechter Leiter ist. Dasselbe ist auch bei der Säule der Fall, und es ist darum sehr nützlich, wenn die Platten so nahe als möglich beisammen stehen.

Durch die Verbindung mehrerer einfachen Ketten von constanter Wirkung erhält man Säulen von constanter Wirkung. Wird also jedesmal der Zink eines *Daniell*'schen Elements, Fig. 542, S. 560, durch die Klemmschraube *a* mit dem Kupfer des nächsten Elements verbunden, so entsteht eine *Daniell*'sche *Batterie*.

6) Der Apparat von *Grove* erhält dadurch die in Fig. 554 abgebildete Gestalt. In den Zellen 1, 2, 3, 4, 5 des hölzernen oder Porzellankastens, dessen Scheidewände *ab* von demselben Material sind, stehen die umgebogenen amalgamirten Zinkplatten *zz*...., in diesen die Thonzellen und in diesen die Platinbleche *pp*.... Jedes Platinblech ist mit dem längern Ende des folgenden Zinks durch

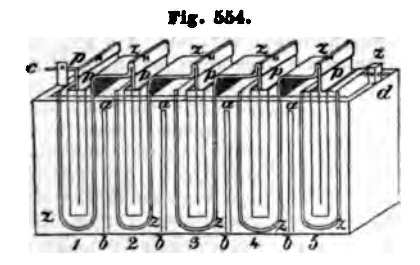


Fig. 554.

eine Klemmschraube verbunden, und zum Schutz ist oben an das Platinblech ein starker Streifen Messing angenietet. An dem Platinpol *c* und dem Zinkpol *d* können Drähte angeschraubt werden, um die elektrische Vertheilung weiter zu leiten. In die Zinkzellen kommt eine Mischung von 1 Maas Schwefelsäure auf 4 Maas Wasser, und in die Platinzellen reine Salpetersäure. Zur Hervorbringung einer weniger constanten und schwächern Wirkung wendet man auch statt der Salpetersäure ein Gemisch von 3 Gew.-Th. saurem chromsaurem Kali, 4 Theilen concentrirter Schwefelsäure und 18 Theilen Wasser an, weil der Geruch nach salpetriger Säure dadurch vermieden wird. Diess geschieht indess sehr leicht auch dadurch, dass man über die *Grove*'sche Batterie einen Holzkasten deckt, der zwei Löcher hat, durch welche die Polardrähte gesteckt sind.

7) *Bunsen's* constante Kette wird aus vier und mehr Elementen von der in Fig. 543, S. 560, abgebildeten Zinkkohlen-Kette dadurch gebildet, dass man den Zinkring *f* eines jeden Elementes auf den Kohlencylinder des nächsten Elementes andrückt, oder dadurch, dass man, wie in Fig. 555, die einzelnen an Zink und Kohle befestigten Metallstreifen durch Schrauben mit einander verbindet. Die Kohle bildet bald das massive Stück, bald den Ring. Ersteres ist immer der Fall, wenn man sich der, bei der Gasbereitung in den Retorten erhaltenen festen Coaksmasse bedient.



Fig. 555.

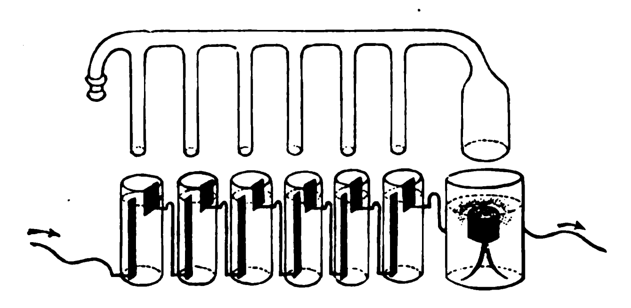
8) Batterien aus Gusseisen und amalgamirtem Zink zeigen sich weniger wirksam. Sie bestehen aus 8 bis 10 hohlen cylindrischen, gusseisernen Gefässen, von 10'' Höhe und 3'' Durchmesser. An jedes derselben ist ein starker Kupferdraht angelöthet, welcher einen Zinkcylinder trägt, der beim Zusammenstellen der Kette in das nächste gusseiserne Gefäss zu hängen kommt, ohne dessen Wände zu berühren. Die Cylinder werden mit einer Mischung aus 8 Theilen Wasser auf 1 Theil Schwefelsäure gefüllt. Aus diesen Zellen entwickelt sich sehr viel Wasserstoffgas, dessen Unannehmlichkeit dadurch beseitigt werden kann, dass man eine Vorrichtung anbringt, durch die es gesammelt und an einer Ausflussmündung verbrannt wird.

9) *Grove* hat noch eine sehr interessante, aber für den gewöhnlichen Gebrauch nicht geeignete Kette aus *zwei* Gasen und einem Platinstreifen construirt. In oben zugeschmolzenen Glasröhren befinden sich Platinstreifen, welche durch Zersetzung des Platinchlorids mit Platinschwamm überzogen sind. In der einen Hälfte dieser Röhren ist Sauerstoffgas, in der andern Wasserstoffgas. Die Gase sind durch verdünnte Schwefelsäure von 1,2 Dichte gesperrt. Mit 50 solchen Elementen erhielt er eine beträchtliche Wirkung. Die Flüssigkeit breitet sich dabei durch die capillare Anziehung über der Oberfläche des Platins aus und das Gas kommt also mit ihr in Berührung. Während die Kette geschlossen ist, verschwindet ein Theil der beiden Gase, und zwar von dem Wasserstoffgas am meisten. Mit Sauerstoff und Stickstoff erhält man auf ähnliche Art keine Wirkung, wohl aber z. B. mit Sauerstoff und Kohlenoxydgas, mit Sauerstoff und Chlor, oder Chlor und Wasserstoff. *Grove* hat obiger Batterie eine Gestalt gegeben, unter der sie sich *immerwährend* im Gang erhalten lässt. An einem Glasrohr sind zehn oder mehr kleine Glasglocken senkrecht befestigt, so dass sie mittelst desselben unter sich in Verbindung stehen.

Diese Glasglocken werden in eben so viele Gläser mit verdünnter Schwefelsäure getaucht, und nehmen alsdann einen platinirten Platinstreifen auf, der, wie Fig. 556 zeigt, vom Boden des Glases aufsteigend, an einem durch denselben gehenden Draht befestigt ist. Ein zweites platinirtes Platinblech von quadratischer Form steht im nämlichen Glase ausserhalb der Glocke, und ragt zur Hälfte über das Wasser empor. Dieses ist mit dem Platinstreifen des nächsten Glases durch einen Draht verbunden, und steht mit der Luft, also mit einer unerschöpflichen Quelle von Sauerstoff, in Berührung. An dem einen Ende der Glasröhre ist eine grössere Glasglocke befestigt, die in ein Gefäss mit verdünnter Schwefelsäure taucht. In dem Gefäss liegt auf einem Träger ein Stück Zink. An dem andern Ende der Röhre ist eine verschliessbare Oeffnung, um die Luft auszusaugen. Sobald diess geschehen und die Oeffnung wieder verschlossen ist, beginnt die Gasentwicklung an dem Zink. Alle Zellen füllen sich nach und nach mit Wasserstoff, und der Zink in der weitern Glocke kommt zuletzt ausser Berührung mit der verdünnten Schwefelsäure. Indem nach dem Schliessen dieser Kette Wasserstoff an den schmalen Platinstreifen, Sauerstoff an den breiten verdichtet wird, beginnt die elektrische Thätigkeit derselben. Der Strom geht vom letzten Sauerstoff-Element zu dem ersten Wasserstoff-Element und bringt alle Wirkungen einer Kette hervor. So oft Wasserstoff verschwindet, kommt die Schwefelsäure wieder mit dem Zink in Berührung und zersetzt denselben. Ist nach einigen Monaten aller Zink oxydirt, so ersetzt man ihn durch ein anderes Stück und erneut die Flüssigkeit in dem betreffenden Gefäss. In den andern Gefässen muss nur von Zeit zu Zeit das verdunstete Wasser ersetzt werden.



Fig. 556.



10) Durch die Verbindung mehrerer *Callan*'schen Elemente erhält man eine für technische Zwecke sehr brauchbare und wirksame Batterie.

Bei allen obigen Batterien kann an den Polen nur dann eine starke elektrische Spannung entstehen, wenn die einzelnen Elemente in getrennten Glaszellen stehen, die selbst wieder durch gläserne Träger isolirt sind.

Eine für Telegraphen und andere technische Zwecke sehr brauchbare Batterie erhält man auch, wenn man Zink- und Kupferplatten in Gläser oder Glaströge stellt und diese fest mit Sand ausfüllt, der mit 8 Theilen Wasser und 1 Theil Schwefelsäure befeuchtet ist.

§. 440.

Alle oben beschriebenen Ketten verlieren nach einiger Zeit ihre Wirksamkeit, besonders weil die Zinkplatten durch die Flüssigkeit zerstört werden. Man hat jedoch auch Säulen verfertigt, welche Jahre lang elektrische Wirkung zeigten, indem man statt der Flüssigkeit einen nur wenig feuchten Halbleiter, wie Papier, geschmolzenen Salpeter, Schafleder und dergleichen zwischen die Metallplatten brachte. Die Wirkung solcher Apparate ist jedoch äusserst schwach, weil die Menge der durch Vertheilung in dem Halbleiter hervorgebrachten Elektrizitäten sehr gering ist. *Zamboni* baute solche Säulen, indem er Scheiben aus unächtem Gold- und Silberpapier (Kupfer und Zink) schnitt, und diese so über einander schichtete, dass immer eine Zinkfläche und eine Kupfer- sich berühren. Die Scheiben werden in eine mit Seitenlöchern ne Glasröhre, welche unten und oben durch eine metallene Kapsel

mit einem Knopfe geschlossen wird, zusammengepresst. Der Knopf am Zinkende wird dadurch positiv- und der am Kupferende negativ-elektrisch. Um eine merkliche Wirkung zu erhalten, muss man wenigstens 600 bis 1000 Scheibenpaare von ½ bis 1 Zoll Durchmesser nehmen. Stellt man mehrere solcher Säulen so zusammen, dass ihre entgegengesetzten Pole mit einander verbunden sind, so wird die Wirksamkeit vermehrt. Ein leichter Körper, z. B. ein in seinem Schwerpunkte aufgehängtes Pendel, kann abwechselnd von einem und dem andern Pole angezogen und wieder abgestossen werden, und so eine Art Perpetuum mobile bilden. Die Bewegung dieses Pendels ist jedoch nicht gleichförmig, sondern sie nimmt mit der Zunahme der Luftfeuchtigkeit ab, und wächst mit dem Steigen der Temperatur. Nach längerer Zeit nimmt nach Einigen die Wirksamkeit dieser Säulen sehr ab, und hört endlich ganz auf, nach Andern nicht. Eine solche Säule befindet sich in dem Karlsruher Physikalischen Kabinet, und hat seit mehr als 40 Jahren ihre Wirksamkeit nicht verloren. Die Luft hat freien Zutritt zu den Elementen derselben, und oxydirt sehr langsam den Zink.

Auch durch Zinkplatten, welche auf einer Seite rauh, auf der andern polirt, und durch eine, 1 Millimeter dicke, Luftschichte von einander getrennt sind, hat *Watkins* eine wirksame trockene Säule erhalten. *Jäger* construirte solche Säulen aus Zink, Kupfer, Firniss und Harz. *Biot* aus Zink, Kupfer und Salpeterscheiben. Die wichtigste Anwendung von den *Zamboni*'schen Säulen hat *Behrens*, und später *Bohnenberger*, gemacht, indem er sie auf die im §. 420 angegebene Art mit dem Elektrometer und Condensator verband, um kleine Mengen von Elektrizität zu entdecken.

Gassiot hat aus 3500 Kupfercylindern und Zinkstäben, die paarweise in Glasbecher mit reinem Wasser gestellt und ausserdem gut isolirt waren, eine Batterie construirt, die mehrere Monate lang eine hohe Spannung zeigte und in ihren Wirkungen constant war, obgleich sie während fünf Wochen unausgesetzt Funken gab, als man die Polardrähte bis auf $1/_{30}$ Zoll einander genähert hatte. Eine chemische Veränderung war im ungeschlossenen Zustand dieser Batterie, trotz der grossen Spannung der Elektrizität, an ihren Elementen nicht zu bemerken.

§. 441.

Wenn ein Stück Zink in eine Flüssigkeit eingetaucht, und dadurch das hervorragende Ende negativ-elektrisch wird, so wird das hervorragende eines später eingetauchten Stückes Zink positiv-elektrisch. Das Nämliche ist auch der Fall, wenn beide zugleich eingetaucht werden, und das erste eine überwiegend grössere Oberfläche hat als das zweite, indem es dann der stärkere Elektromotor ist. Hierauf gründet sich *Zamboni's zwei-elementige Säule.* Die Glieder der in Fig. 535 abgebildeten Kette bestehen bei derselben aus viereckigen Stanniolstreifen, die in einen langen und schmalen Streifen auslaufen. Das Viereck wird in die Flüssigkeit des einen Gefässes, das Ende des Streifens in die des andern eingetaucht. Von der Seite der Streifen geht der positive Strom, und von der entgegengesetzten der negative durch einen die letzten Gefässe verbindenden Draht.

Wird eine Säule aus befeuchteten Tuchlappen und einerlei Metallplatten aufgebaut, und mit den Polen einer Volta'schen Säule an beiden Enden in Verbindung gesetzt, so erscheint sie nach einiger Zeit, wie diese, geladen. Man nennt sie daher *Ladungssäule* oder *secundäre* Säule. Der Grund dieser Erscheinung wird später bei der Erwähnung der sogenannten Polarisation angegeben werden.

§. 442.

Die Kraft der einfachen wie der zusammengesetzten Volta'schen Kette oder Batterie, kann nur in Beziehung auf die Wirkungen, welche sie hervorbringt, geschätzt werden. Entladet man eine Kette zuerst durch einen kurzen und dann durch einen langen Kupferdraht von derselben Dicke, so findet man auf die im §. 438 angegebene Art, dass die Wirkung des Stromes auf die Magnetnadel im ersten Fall grösser ist als im zweiten. *Ohm* schloss desshalb auf einen *Widerstand* in dem Polardraht, welcher sich in dem längern Draht öfter wiederholen muss als in dem kürzern. Die vertheilende oder *elektromotorische Kraft,* welche von einer Kette auf den Polardraht wirkt, kann darum Ströme von *verschiedener Stärke* hervorbringen, und *Ohm* hat gefunden, dass bei unveränderter *elektromotorischer Kraft E, die Stromstärke S dieser Kraft E direct und dem Widerstand W umgekehrt proportional ist* oder dass $S = \frac{E}{W}$. Dieses Gesetz heisst das *Ohm*'sche *Fundamentalgesetz.*

Der Widerstand in dem Polardraht ist sowohl von der Länge und Dicke, als von dem Leitungsvermögen desselben abhängig, und die Versuche von *Ohm, Pouillet* und Andern beweisen, dass der *Widerstand im directen Verhältniss mit der Länge, und im umgekehrten mit dem Querschnitt und dem Leitungsvermögen des Polardrahtes steht.* Wenn also für einen Leiter von der Länge 1, dem Querschnitt 1 und dem Leitungsvermögen 1 der Widerstand = 1 gesetzt wird, so ist für die Länge l, den Querschnitt q und das Leitungsvermögen k, der Widerstand

$$W = \frac{l}{qk}.$$

Denselben Widerstand kann auch ein Draht von dem Querschnitt 1 und dem Leitungsvermögen 1 leisten, wenn er nur die gehörige Länge hat, oder wenn seine Länge $L = \frac{l}{qk}$ ist. Diese Länge nennt man die *reducirte* Länge. Da ein Widerstand in dem Schliessungsdraht stattfindet, so muss man annehmen, dass auch ein solcher in der zwischen den Elementen der Kette befindlichen Flüssigkeit vorhanden sei, und dafür, so wie für jeden Widerstand d, den Widerstand eines Stückes Kupferdraht von der Länge x, dem Querschnitt 1 und dem Leitungsvermögen 1 setzen.

Die Bestätigung der obigen Gesetze erhielt man durch nachstehende und ähnliche Versuche:

Es wurde eine der obigen constanten Ketten durch den Draht der Tangentenboussole geschlossen. Die Ablenkung der Magnetnadel betrug $21^3/_4{}^0$. Hierauf wurde zwischen den einen Pol der Kette und den Draht der Tangentenboussole bald ein Kupferdraht von 1 Meter, bald von 2 Meter Länge eingeschaltet. Die Ablenkung betrug im ersten Fall 18^0, im zweiten $15^1/_4{}^0$. Nimmt man nun an, der Widerstand in der Kette und in dem Draht der Boussole sei dem eines Kupferdrahtes von x Meter gleich, so beträgt beim zweiten Versuch die Länge $x + 1$ und beim dritten $x + 2$ Meter. Die Widerstände bei allen drei Versuchen müssten sich also verhalten, wie $x : (x + 1) : (x + 2)$ und die Stromstärken, wie $\frac{E}{x} : \frac{E}{x+1} : \frac{E}{x+2}$, also müsste für den ersten und zweiten Versuch

$\text{tg}\, 21^3/_4{}^0 : \text{tg}\, 18^0 = \frac{1}{x} : \frac{1}{x+1}$, und für den ersten und dritten $\text{tg}\, 21^3/_4{}^0 : \text{tg}\, 15^1/_4{}^0 = \frac{1}{x} : \frac{1}{x+2}$ sein. Berechnet man die Länge von x aus der letzten Proportion, so findet man $x = 4{,}3$ M. Führt man diesen Werth von x in die erste Proportion ein, so findet man die Bestätigung derselben, und also die Uebereinstimmung der Erfahrung mit den obigen Gesetzen. Eben so leicht ist es zu beweisen, dass der Widerstand im umgekehrten Verhältniss mit dem Querschnitt steht. Man schaltet nur statt des obigen Drahtes von 1 Meter Länge einen andern, dessen Querschnitt viermal kleiner oder dessen Durchmesser zweimal geringer ist und dessen Länge den vierten Theil beträgt, ein, so wird die Ablenkung die nämliche bleiben. — Nimmt man statt des ersten Kupferdrahtes einen Eisendraht von gleichem Durchmesser, so muss man diesen bis auf den sechsten Theil verkürzen, damit die Ablenkung eben so gross wird. Demnach muss also das Leitungsvermögen des Eisens sechsmal kleiner angenommen werden, als das des Kupfers. Bei einem Eisendraht von 1 Meter Länge findet man auf dieselbe Art, wie oben, dass die Stromstärke einem 6 Meter langen Kupferdraht entspricht, und dass also das Leitungsvermögen umgekehrt proportional dem Widerstand ist. Zur Vergleichung dieser Gesetze haben Andere auch die thermischen Wirkungen des Stromes benutzt und dasselbe Resultat erhalten. Wie man die Sinusboussole oder das Galvanometer dazu anwenden müsse, ist nun von selbst klar. Auch bei der Entladung einer Leidner Batterie hat *Riess* dieselben Gesetze gefunden, indem er Schliessungsdrähte von verschiedener Länge und Dicke in die Kugel eines Luftthermometers einschloss und aus der Erwärmung und Ausdehnung der Luft auf die Stärke des Stromes schloss.

Zur objectiven Darstellung kann man sich, wie *Fechner*, der Schwingungsmethode bedienen. Bei einem Versuch mit einem *Grove*'schen Element wurden nach einander Schliessungsdrähte von 4, 3, 2 Meter Länge angewandt. Jeder Draht wurde senkrecht zum magnetischen Meridian und horizontal über einen Tisch gespannt. Die Magnetnadel hing an einem Faden darüber und macht in 1 Minute vermöge des Erdmagnetismus allein 33 Schwingungen, mit Einwirkung eines der obigen Schliessungsdrähte 41, 43, $46^1/_2$ Schw. Bezeichnet man die Stromstärken durch S, S', S'', und die Wirkung des Erdmagnetismus durch T, so ist $33^2 : 41^2 : 43^2 : 46^1/_2{}^2 = T : T + S : T + S' : T + S''$. Daraus folgt, dass $S : S' = 592 : 760$ und $S' : S'' = 760 : 1073$. Wenn aber der Widerstand der Kette gleich der eines Kupferdrahtes von x Meter war, so musste $S : S' = x + 3 : x + 4$ und $S' : S'' = x + 2 : x + 3$ oder $592 : 760 = x + 3 : x + 4$ und $760 : 1073 = x + 2 : x + 3$ sein. Aus der letzten Gleichung folgt $x = 0{,}428$. Es war also der Widerstand der Kette dem eines Kupferdrahtes gleich, von der Dicke des Schliessungsdrahts und von 0,428 Meter Länge. Führt man diesen Werth von x in die Gleichung $592 : 760 = x + 3 : x + 4$ ein, so erhält man die Bestätigung des obigen Gesetzes.

§. 443.

Die Erfahrung lehrt, dass eine aus ungleichen Elementen zusammengesetzte Kette eine elektromotorische Kraft entwickelt, welche der Summe der Kräfte der einzelnen Elemente gleich ist. Der Widerstand einer solchen Kette wird aber durch die Summe der Widerstände in den einzelnen Elementen gefunden. Bezeichnet man daher durch E, E', E'' die elektromotorischen Kräfte, und dnrch r, r', r'' die Widerstände der einzelnen Elemente, ferner durch l den Widerstand in dem Schliessungsdraht, und sind alle diese Widerstände durch die reducirte Länge ausgedrückt, so ist die Stromstärke dieser Kette $S = \frac{E + E' + E''}{r + r' + r'' + l}$.

Sind aber die Wirkungen der einzelnen Elemente und ihre Widerstände einander gleich, so wird bei n Elementen $S = \frac{nE}{nr + l}$.

Die Uebereinstimmung dieser Formel, welche nach ihrem Entdecker

die *Ohm*'sche heisst, mit der Erfahrung, findet man dadurch, dass man auf ähnliche Art, wie im §. 442, die Stromsärke $S = \frac{E}{r}$ oder $E = rS$, z. B. an einer *Grove*'schen Batterie von 5 Elementen für jedes einzelne Glied sucht, und den Einfluss des Schliessungsdrahtes dadurch bestimmt, dass man die Wirkung von zwei einzelnen Elementen mit der Wirkung ihrer Verbindung zu einer zusammengesetzten Kette vergleicht. Dabei muss man stets denselben Schliessungsdraht anwenden, wozu gewöhnlich der Kupferstreifen der Tangentenboussole dient. Ist der Strom zu stark, so schwächt man ihn durch Einschaltung des nachher zu beschreibenden Rheostats.

Ausser diesen Widerständen haben *Fechner* und *Poggendorff* noch die Existenz eines Widerstandes nachgewiesen, welcher entsteht, wenn der elektrische Strom von einem Metall auf eine Flüssigkeit übergeht, und daher der *Uebergangswiderstand* heisst. Dieser Widerstand ist der später zu erklärenden Polarisation der bei Unterbrechung des Schliessungsdrahtes in eine Flüssigkeit eingetauchten Drahtenden zuzuschreiben. Nennt man den Uebergangswiderstand u, und den Widerstand der zwischen die Pole des Schliessungsdrahtes gebrachten Flüssigkeit oder deren reducirte Länge f, so ist

$$S = \frac{nE}{nr + l + u + f} \quad \text{I.}$$

Wenn der Schliessungsdraht nicht unterbrochen, also u und $f = o$ sind und sein *Widerstand l ist sehr klein,* so wird $S = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r}$. In diesem Falle gibt also die zusammengesetzte Kette keinen stärkern Strom als ein einzelnes Element.

Ist aber der Widerstand im Schliessungsdraht viel grösser als in der Kette, welches immer der Fall ist, wenn der Strom durch Flüssigkeiten oder sehr lange und sehr dünne Drähte gehen muss, wird also nr im Verhältniss zu den andern Widerständen gleich Null, so ist $S = \frac{nE}{l + u + f}$. In diesem Falle wächst also die Stärke des Stromes mit der Anzahl der Elemente.

Nimmt man m mal grössere Platten, so bleibt die elektromotorische Kraft oder die Spannung unverändert, aber der Widerstand r in der Kette wird m mal kleiner, weil der Querschnitt der leitenden Flüssigheit m mal grösser ist. Dann wird also

$$S = \frac{nE}{\frac{nr}{m} + l} = \frac{mnE}{nr + ml} \quad \text{II.}$$

Die Formel II drückt also die relative Stromstärke einer Kette aus, deren Elemente die m fache Fläche von denen haben, welche die Stromstärke

$$S = \frac{nE}{nr + l}$$

hervorbringen. Nimmt man in II an, es werde $n = 1$, so ist die Stromstärke für 1 Element von der m fachen Fläche

$$S_{,} = \frac{mE}{r + ml}$$

Für m Elemente von der einfachen Fläche ist sie aber

$$S_{,,} = \frac{mE}{mr + l}$$

Wird nun in $S_{,}$ und $S_{,,}$ der Widerstand $r = l$, so werden auch die Stromstärken $S_{,}$ und $S_{,,}$ einander gleich; es kann also *ein* Element von m facher Fläche so viel wirken, als m Elemente von einfacher Fläche.

Ist l sehr klein, so wird $S = \frac{mE}{r}$ oder die Stromstärke proportional der Grösse der Elemente. Nimmt man aber m mal mehr Elemente, so wird $S = \frac{mnE}{mnr + l}$, oder wenn l sehr klein, $S_{,} = \frac{E}{r}$, es ist also $S : S_{,} = m : 1$. Wenn der Widerstand im Schliessungsdraht sehr klein ist, so wird also der Strom durch die Zahl der Elemente nicht verstärkt, wohl aber durch die Grösse derselben. Auf ähnliche Art lassen sich noch viele andere Erscheinungen an der Kette aus dem *Ohm*'schen Gesetz erklären. Eine der wichtigsten Folgerungen daraus ist die, dass bei einer bestimmten Oberfläche des zu einer Kette angewandten Zinks, *das Maximum der Stromstärke erreicht wird, wenn man es so einrichtet, dass der Widerstand in der Kette gleich ist dem Widerstand in dem Schliessungsdraht.*

Angenommen, man habe eine Zinkplatte von 1 □Meter und zerschneide diese in x gleiche Elemente, so ist die Fläche jedes Elements $= \frac{1}{x}$. Ist nun der Widerstand der Flüssigkeit zwischen zwei Platten von der Flächeneinheit gleich 1, so ist für die Fläche $\frac{1}{x}$ der Widerstand gleich $1 : \frac{1}{x} = x$ und für x Elemente $= x^2$. Wird der Widerstand des Schliessungsdrahts für die Längeneinheit durch p ausgedrückt, so ist er für die Länge l gleich pl. Für x Elemente obiger Kette und den Schliessungsdraht l ist also die Stromstärke

$$S = \frac{xE}{x^2 + pl} = \frac{E}{x + \frac{pl}{x}}.$$

Der Nenner $x + \frac{pl}{x}$ wird aber ein Minimum, wenn $x^2 = pl$ ist; denn drückt man das Produkt pl durch den Flächeninhalt eines Rechtecks aus, dessen Grundlinie $= p$ und dessen Höhe $= l$, so ist $x + \frac{pl}{x}$ der halbe Umfang eines andern Rechtecks, dessen Flächeninhalt eben so gross ist, weil $x \,.\, \frac{pl}{x} = pl$. Der Umfang eines Rechtecks von dem gegebenen Flächeninhalt pl wird aber, wie die Geometrie lehrt, ein Minimum, wenn Grundlinie und Höhe einander gleich sind, oder wenn $x = \frac{pl}{x}$, also $x^2 = pl$ ist. Ist aber der Nenner $x + \frac{pl}{x}$ ein Minimum, so ist der Strom S ein Maximum. Wenn also z. B. der Widerstand für den Querschnitt 1 in der Flüssigkeit $= 4$ und im Draht $p = 2$ ist, und die Länge l durch 50 ausgedrückt wird, und man will ein gegebenes Stück Zink von 9 □ Meter in x Elemente so zerschneiden, dass die daraus gebildete Kette das Maximum der Wirkung hat, so ist die Fläche von 1 Element $= \frac{9}{x}$, also der Widerstand in 1 Element $= \frac{4x}{9}$ und in x Ele-

menten $= \frac{4x^2}{9}$. Dieser muss aber gleich dem Widerstand $pl = 100$ sein, folglich hat man $\frac{4x^2}{9} = 100$ und $x = 15$. Es wird also $S = \frac{15\,E}{200} = 0{,}075\ E$, während für $x = 14$ oder $x = 16$; $S = 0{,}074\,E$ wird.

Wenn sich ein Strom, wie in Fig. 557, bei a in zwei Arme theilt, und die Stromstärke wird in dem ungetheilten Leiter durch s, in acb durch s' und in adb durch s'' ausgedrückt, so kann man nach dem Verhältniss dieser Stromstärken fragen. — Die auf den Querschnitt 1 reducirten Längen von acb und adb seien r' und r'', so entspricht nach dem §. 442 der Widerstand in r'' auch dem eines Drahtes von der Länge r' und dem Querschnitt q, wenn $\frac{q}{r'} = \frac{1}{r''}$ oder $q = \frac{r'}{r''}$ ist. Die Drähte acb und adb haben dann gleiche Länge r' und zusammen den Querschnitt $q + 1$. Man kann sich also an ihre Stelle einen einzigen Draht von dieser Länge denken. Diesen kann man unbeschadet der Wirkung ersetzen, durch einen andern von der Länge r und dem Querschnitt 1; nur muss alsdann $\frac{1}{r} = \frac{q+1}{r'}$ sein. Letzte Gleichung zeigt, wenn man darin für q den obigen Werth $\frac{r'}{r''}$ setzt, dass

Fig. 557.

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r'} + \frac{1}{r''}.$$

Man nennt $\frac{1}{r}$ die *Leitungsfähigkeit* des betreffenden Drahtes und die Gleichung drückt also aus, *dass die beiden Arme eines Leiters einem einzelnen Leiter gleichgelten, wenn seine Leitungsfähigkeit der Summe der Leitungsfähigkeiten in den Armen gleich ist.* Die Stromstärken s' und s'' gehen bei gleicher Länge r' durch die Querschnitte 1 und q, und der ganze Strom s geht durch den Querschnitt $1 + q$, es ist also $s : s' = 1 + q : 1$ und $s : s'' = 1 + q : q$, folglich

$$s' = \frac{s}{1+q} \quad \text{und} \quad s'' = \frac{s\,q}{1+q}$$

oder

$$s' = \frac{r''\,s}{r' + r''} \quad \text{und} \quad s'' = \frac{r'\,s}{r' + r''}.$$

Daraus folgt zugleich, dass der Hauptstrom der Summe der Nebenströme gleich ist.

Unter den obigen Voraussetzungen sei in Fig. 557 die elektromotorische Kraft der Kette $= E$, und der Widerstand der Kette nebst dem Schliessungsdraht, mit Ausnahme der Stücke acb und adb, sei ausgedrückt durch R, so ist $s = \frac{E}{R + r}$, weil r der Widerstand der Arme acb und adb ist. Da aber $\frac{1}{r} = \frac{1}{r'} + \frac{1}{r''}$, so wird $s = \frac{E\,(r' + r'')}{R\,(r' + r'') + r'\,r''}$ und der durch acb gehende Strom $s' = \frac{r''\,E}{R(r' + r'') + r'r''}$. Ist r' im Verhältniss zu r'' sehr gross, indem man statt acb den sehr langen und feinen Draht eines Multiplicators einschaltet, und statt adb einen starken und kurzen Draht, so wird $s' = \frac{r''\,E}{R r' + r' r''}$. Bei zusammengesetzten Ketten ist R gegen r'' ebenfalls sehr gross, und man hat daher für solche unter den obigen Umständen

$$s' = \frac{r''\,E}{r'\,R}.$$

Der Seitenstrom s' in dem Galvanometerdraht ist also dann dem Quotienten $\frac{E}{R}$ und der Grösse r' direct proportional. Gibt man nun dem Zwischenstück r'' verschiedene Längen, so kann man es leicht dahin bringen, dass auch für eine andere Kette der Ausschlag des Galvanometers derselbe wird, wie für die erste. Diese Länge heisse x, und statt

$$\frac{E}{R} \text{ habe man } \frac{E'}{R'}, \text{ so ist } \frac{r''\,E}{r'\,R} = \frac{x\,.\,E'}{r'\,R'}, \text{ also } r'' : x = \frac{E'}{R'} : \frac{E}{R}.$$

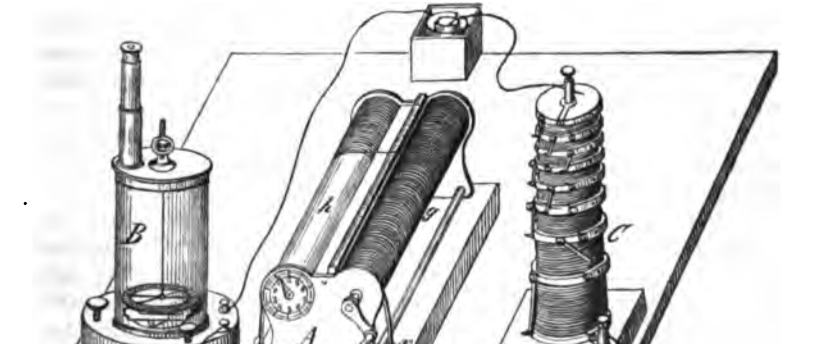
Der Bruch $\frac{E}{R}$ heisst das *Maximum der Stromstärke*, und es verhalten sich also bei gleicher Ablenkung der Magnetnadel die *Stromstärken zweier Ketten umgekehrt, wie die eingeschalteten Längen* von *a b d*. *Petrina* hat dazu eine Quecksilberrinne angewandt, in welche man in verschiedenen Abständen die Enden des Schliessungsdrahtes von dem Galvanometer taucht.

Ein anderes Mittel zur Vergleichung zweier Ketten hat *Poggendorff* angegeben. In den meisten Fällen genügt schon die Vergleichung der Stromstärken, welche durch einen als Nebendraht angewendeten Galvanometer oder die Tangentenboussole gehen. Starke Ströme können dadurch beliebig geschwächt werden, dass man sie durch einen der folgenden Apparate leitet.

§. 444.

Zur Untersuchung der Gesetze elektrischer Ströme haben *Poggendorff*, *Wheatstone*, *Jacobi* und Andere noch verschiedene Instrumente erdacht, deren wesentliche Einrichtung auf der Abänderung der Stromstärke durch Einschaltung von beliebig grossen Widerständen beruht. Einer der bequemsten Apparate dieser Art ist der *Rheostat A* von *Wheatstone*, Fig. 558, in Verbindung mit dem *Galvanometer* oder *Rheometer B*. Der Rheostat besteht aus einem Cylinder *g* von Mahagoniholz und einem Cylinder *h* von Messing. Beide haben gleichen Durchmesser und lassen

Fig. 558.



sich um ihre parallelen Achsen drehen. In dem Holzcylinder ist ein feiner Schraubengang von ganz geringer Tiefe eingeschnitten, um einen feinen Messingdraht aufzunehmen. Dieser wird mit dem einen Ende an einem Metallring befestigt, der den vorderen Theil des Holzcylinders umgibt. Das andere Ende des Messingdrahtes ist an dem hinteren Theil des Messingcylinders festgemacht. Bei *x* und *z* sind Schrauben, an welchen Drähte eingeklemmt werden. Von der Schraube *x* geht eine Metallfeder an den Messingring des Holzcylinders, und von *z* eine gleiche an den hervorragenden Rand des Messingcylinders. Beide reiben sich an diesem Ring während der Umdrehung. Ein Strom, der durch den Draht *x* ankommt, geht vermittelst der Feder auf den Metallring, durchläuft den spiralförmig auf das Holz gewundenen Draht seiner ganzen

Länge nach, geht sodann auf den Messingcylinder, durchläuft diesen bis an die vordere Feder, und steigt durch diese hinab zur Klemmschraube *s*. Windet man nun mittelst der kleinen Kurbel die Hälfte des Messingdrahtes von dem Holzcylinder auf den Messingcylinder, so hat der elektrische Strom nur noch die Hälfte des Widerstandes in dem Messingdraht zu überwinden, weil er da, wo der feine Draht den Metallcylinder berührt, sogleich auf den letztern übergeht. Nimmt man an, jede Drahtwindung leiste den Widerstand 1, und es sei die Länge des ganzen Messingdrahtes gleich 100 Windungen, so ist dieser Widerstand noch gleich 60, wenn 40 Windungen vom Holz auf den Messingcylinder abgewickelt sind. Die Zahl dieser Windungen erkennt man an einer zwischen beiden Walzen befindlichen Scala. Die Bruchtheile einer Windung gibt der bei *A* an der Achse des Messingcylinders befestigte Zeiger auf der kreisförmigen Theilung an. Will man den Widerstand vermindern, so windet man den Draht von dem Holzcylinder auf den Metallcylinder; will man ihn wieder vergrössern, so windet man ihn wieder auf das Holz zurück.

Um noch grössere Widerstände einzuschalten, habe ich den Regulator *C* construirt. Er besteht aus einem Holzcylinder, in welchem ringsum Vertiefungen eingedreht sind. Auf den Rändern derselben sind Messingstreifen befestigt. Je zwei solcher Messingstreifen können durch ein bewegliches Brückchen von starkem Messing verbunden werden. In den Vertiefungen ist feiner mit Seide übersponnener Argentandraht von $^1/_{100}$ Zoll Durchmesser aufgenommen. Seine beiden Enden sind jedesmal an die zwei Messingstreifen festgemacht. Wird nun ein Strom nach der obern Klemmschraube geleitet, und sind alle Brückchen geschlossen, so geht dieser ohne beträchtlichen Widerstand durch dieselben zu der untern Klemmschraube. Ist aber eines der Brückchen offen, so muss er den Argentandraht, der darunter aufgewunden ist, durchlaufen, und erfährt also einen grossen Widerstand. Der erste Argentandraht ist so lang, dass sein Widerstand gleich 100 Windungen des Messingdrahtes an *Wheatstone's Rheostat* ist, beim zweiten beträgt derselbe 200, beim dritten 300, beim vierten 500, beim fünften 1000, beim sechsten 2000, beim siebenten 3000, beim achten 5000 Windungen des Messingdrahtes. Man kann also durch die Verbindung des Regulators mit dem Rheostat Widerstände von $^1/_{10}$ bis zu 12100 Windungen hervorbringen, und darum starke und schwache Ströme mit einander vergleichen; für sehr schwache Ströme ist aber der Draht des Rheostats zu fein. Man braucht darum zu ihrer Vergleichung noch einen ähnlichen Apparat mit einer einzigen Walze und dickem Argentandraht, der spriralförmig darauf festgemacht ist. Durch das eine Ende desselben wird der Strom hineingeleitet, und indem man ihn nun mit einem starken Draht an einer nahen oder entfernten Stelle berührt, wird der Strom auf kürzerem oder längerem Weg zu dem andern Pol der Kette zurückgeführt.

Obige Apparate kann man zur Bestätigung des *Ohm*'schen Gesetzes, zur Vergleichung zweier Ketten und zur Bestimmung der constanten Widerstände einer Kette anwenden.

Indem man den Strom einer einfachen Kette durch den Rheostat und das Galvanometer leitet, kann man den Widerstand so gross machen, dass die Galvanometernadel z. B. auf 45° stehen bleibt. Hat man ein zweites ganz gleiches *Volta*'sches Element, welches also bei demselben Widerstand dieselbe Ablenkung gibt,

und bezeichnet man den Widerstand des Galvanometerdrahtes durch g, den des Rheostats durch l und den der einfachen Kette durch r, so ist im ersten und zweiten Fall $S = \frac{E}{r + l + g}$. Verbindet man nun beide Elemente zu einer zusammengesetzten Kette, so wird die Nadel stärker abgelenkt. Vermehrt man aber den Widerstand im Rheostat, bis die Nadel wieder auf 45° steht, und ist der jetzige Widerstand um λ grösser, als der vorige, so hat man $S = \frac{2E}{2r + l + \lambda + g}$. Da aber auch $S = \frac{E}{r + l + g}$, so ist $g = \lambda - l$, oder der Widerstand des Galvanometers ist gleich der Differenz der hinzugefügten Widerstände.

Von zwei verschiedenen Ketten seien die elektromotorischen Kräfte E und E', die Widerstände in den Kettengliedern gleich R und R', die hinzugefügten Widerstände, damit für beide die Galvanometernadel auf 45° stehen bleibt, seien r und r', und damit sie auf 40° zurückgeht, müsse man die Widerstände ϱ und ϱ' einschalten, so ist

$$\frac{E}{R + r} = \frac{E'}{R' + r'} \text{ und } \frac{E}{R + \varrho} = \frac{E'}{R' + \varrho'}.$$

Kehrt man die Brüche um und zieht man die erste Gleichung von der zweiten ab, so wird $\frac{\varrho - r}{E} = \frac{\varrho' - r'}{E'}$.

Hieraus ergibt sich das Verhältniss der elektromotorischen Kräfte beider Ketten, indem man erhält $\frac{E}{E'} = \frac{\varrho - r}{\varrho' - r'}$.

Bezeichnet R den gesammten Widerstand von Kette und eingeschaltetem Draht, g den des Galvanometers, und ist also $S = \frac{E}{R + g}$, so kann man den Strom so in zwei Ströme theilen, dass die eine Hälfte durch das Galvanometer, die andere durch einen Draht von der gleichen Länge g geht. In dem Hauptdraht ist alsdann die Stromstärke $S' = \frac{E}{R + \frac{g}{2}}$, weil die Länge g nun den doppelten Querschnitt hat. In dem Galvanometerdraht ist aber die Stromstärke nur halb so gross oder $\frac{\frac{1}{2}E}{R + \frac{g}{2}}$. Man muss daher den Widerstand der Leitung um eine gewisse Grösse r vermindern, damit die Nadel wieder auf denselben Punkt zeigt, wie oben bei dem Strome S. Dann ist aber $S = \frac{\frac{1}{2}E}{R + \frac{g}{2} - r;}$ folglich hat man

$$\frac{E}{R + g} = \frac{\frac{1}{2}E}{R + \frac{g}{2} - r}.$$

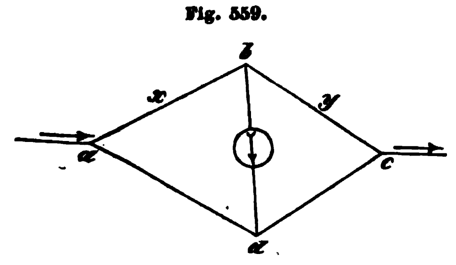


Fig. 559.

Daraus ergibt sich $R = 2r$, oder der ganze Widerstand der Kette. Aehnliche Anwendungen können zur Lösung anderer Aufgaben gemacht werden. Folgende ist bei Messungen oft sehr bequem:

Wenn man den Strom der Kette durch ein Drahtdiagramm, wie Fig. 559, leitet, und die Seitenwege ab, bc und ad, dc durch einen Querdraht bd verbindet, so lässt sich mit Hilfe der im §. 443, Anmerk., abgeleiteten Formeln zeigen, dass

in *bd* gar kein Strom entsteht, wenn die Produkte der Widerstände $ab \cdot dc$ und $ad \cdot bc$ einander gleich sind. Schaltet man daher bei x den *Wheatston*'schen Rheostat, bei y den zu messenden Widerstand und in der Mitte von *bd* ein Galvanometer ein, und regulirt man den Rheostat x so, dass die Nadel des Galvanometer nicht im Geringsten abgelenkt wird, so findet man y durch die Gleichung $y = \frac{x \cdot dc}{ad}$. Dieses Verfahren gibt desshalb sehr genaue Resultate, weil in obiger Lage die Magnetnadel durch den schwächsten Strom abgelenkt wird.

§. 445.

Die stärkere Spannung an den Polen der zusammengesetzten Ketten folgt aus dem im §. 439 Gesagten. Dort ist nachgewiesen, dass die Elektrizitätsmenge am positiven Ende durch

$$U = n\,(E - E' + e)$$

ausgedrückt wird, wenn n die Zahl der Elemente, E und E' die durch Eintauchen der beiden Metalle in die Flüssigkeit und e die durch den Contact der Metalle hervorgerufene Elektrizitätsmenge bezeichnet.

Die Spannung der Elektrizität im Innern der Kette ist von der an den Polen verschieden. Nimmt man nach *Volta* an, die Elektrizität sei nur durch den Contact der Metalle erregt, und die Flüssigkeit wirke nur als Leiter, durch welche die von einem Plattenpaare erregten Elektrizitäten auf folgende Art an beiden Enden angehäuft werden. Besteht z. B. die Säule aus vier Paaren:

ZCFZCFZCFZC,

so ist die erste Zinkplatte positiv, vermöge der Berührung mit der ersten Kupferplatte, und diese ist negativ aus demselben Grunde. Da die Berührung fortdauert, so theilt die Kupferplatte allen rechts liegenden Platten dieselbe Elektrizitätsmenge mit, und bezeichnet man daher diese Menge durch a, so findet folgende Elektrizitäts-Vertheilung, vermöge des ersten Paares, in der Säule statt:

$$\begin{array}{ccccccccccc} Z & C & F & Z & C & F & Z & C & F & Z & C \\ +a & -a & & -a & -a & & -a & -a & & -a & -a \end{array}$$

Das zweite Paar wirkt ebenfalls als Erreger, und theilt den links liegenden Platten $+ E$, den rechts liegenden $- E$ mit. Vermöge des zweiten Paares ist daher der Zustand der Säule folgender:

$$+a + a \qquad +a - a \qquad -a - a \qquad -a - a$$

das dritte und vierte Paar bewirken auf gleiche Art folgende Vertheilung:

$$+a + a \qquad +a + a \qquad +a - a \qquad -a - a$$
$$+a + a \qquad +a + a \qquad +a + a \qquad +a - a.$$

Addirt man die Elektrizitäts-Mengen in den einzelnen Platten, so erhält man:

$$+4a + 2a \qquad +2a + 0 \qquad 0 - 2a \qquad -2a - 4a.$$

Eben so kann man nach dieser Theorie die Intensität der Säule für mehrere Paare finden. Bei dieser Erklärung ist keine Rücksicht auf die elektrische Erregung zwischen Metall und Flüssigkeit genommen. Nimmt man an, die Elektrizitäts-Erregung rühre blos von der Berührung der Metalle mit der Flüssigkeit her, und die Kette sei desshalb in der Ordnung: CFZCFZCFZCFZ construirt, so ist das letzte Zink-Element als der stärkste Elektromotor negativ, das gegenüberstehende Kupfer-Element positiv. Dieses theilt durch Leitung allen vorhergehenden

Elementen dieselbe Elektrizität mit, und es findet also in der Säule folgende Vertheilung statt:

C F Z C F Z C F Z C F Z

$+a \quad +a+a \quad +a+a \quad +a+a \quad -a.$

Der Zink im vorletzten Paar wirkt ebenfalls elektromotorisch, und theilt allen rechts liegenden Leitern negative Elektrizität mit, allen links liegenden positive. Vermöge des vorletzten Zinks ist daher der Zustand der Kette

$+a \quad +a+a \quad +a+a \quad -a-a \quad -a.$

Die beiden andern, welche diesen vorausgehen, bewirken die Vertheilung:

$+a \quad +a+a \quad -a-a \quad -a-a \quad -a$

$+a \quad -a-a \quad -a-a \quad -a-a \quad -a.$

Addirt man diese vier Wirkungen, so wird die Spannung der Elemente gleichfalls

$+4a \quad +2a+2a \quad 0 \; 0 \quad -2a-2a \quad -4a.$

In beiden Fällen ist also die Elektrizitätsmenge an den Polen der Zahl der Elemente proportional. Man sieht auch aus dem Vorhergehenden, dass die Menge der freien Elektrizität, die sich auf den Elementen der Kette verbreitet, von den Polen nach der Mitte hin abnehmen muss. Diess ist auch durch direkte Messungen erwiesen.

Wollaston sah zuerst die chemische Einwirkung der Flüssigkeit auf die Metalle als die Ursache der Elektrizitäts-Erregung an. Er beobachtete, dass in manchen Fällen die Kraft der Kette um so grösser ist, je stärker die Platten von der Flüssigkeit angegriffen wurden. In andern Fällen zeigt sich jedoch gerade das Gegentheil. Dennoch hat seine Ansicht viele Vertheidiger gefunden, unter denen *De la Rive* die ausführlichste Theorie aufgestellt hat.

De la Rive erklärt die Wirkung der *Volta*'schen Säule auf folgende Art: Jede der einfachen Ketten, aus welchen die Säule besteht, wird durch die chemische Einwirkung der Flüssigkeit elektrisch erregt. Ein Theil der beiden Elektrizitäten verbindet sich augenblicklich wieder und ein anderer bleibt frei. Die positive Elektrizität von der Zinkplatte geht durch die Flüssigkeit zu der negativen Elektrizität der Kupferplatte des vorhergehenden Paares und neutralisirt diese. Eben so geht die negative Elektrizität von der Kupferplatte durch die Flüssigkeit zu der positiven der Zinkplatte in dem folgenden Paare und neutralisirt auch diese. Es bleibt also freie positive Elektrizität in dem vorhergehenden und freie negative Elektrizität in dem folgenden Paare. Von den folgenden Paaren gilt dasselbe, und es wird daher am Zink-Ende $+E$, am Kupfer-Ende $-E$ in gleichen Quantitäten frei bleiben, und wenn beide Enden durch einen Leiter verbunden werden, so neutralisiren sich diese und bilden einen Strom. Die Intensität dieses Stromes ist gleich der des Stromes zwischen allen Platten. Wenn nun zwischen den einzelnen Platten eine gute Leitung stattfindet, so vereinigen sich die entgegengesetzten Elektrizitäten der Pole leicht wieder, auch in der ungeschlossenen Säule, und ihre Spannung ist daher gering. Wenn aber ein schlechter Zwischenleiter angewendet wird, oder viele Platten aufgeschichtet werden, so ist der Leitungswiderstand grösser, und die Spannung an den Polen nimmt daher mit der Zahl der Platten zu. Daraus folgt, dass, wenn man einen schlecht leitenden Schliessungsdraht anwendet, die Säule sich nicht vollständig durch ihn, sondern zum Theil durch sich selbst entladet. Ferner, dass wenn man den Schliessungsdraht unterbricht und den Strom an derselben Stelle durch abwechselnde Schichten von Flüssigkeit und Metallplatten gehen lässt, eine bedeutende Schwächung desselben erfolgen muss.

§. 446.

Die Wirkungen der *Volta*'schen Kette lassen sich eintheilen in a) Mechanische, b) Lichterscheinungen, c) Wärme-Erregung, d) Physiologische, e) Chemische und f) Magnetische Wirkungen.

a) *Die mechanischen Wirkungen* der Kette sind sehr unbedeutend, weil die elektrische Spannung an den Polen, selbst bei einer sehr grossen Anzahl von Elementen noch gering ist. Daher zeigt auch ein sehr empfindliches Elektrometer, welches mit den isolirten Polen der Kette in Verbindung gesetzt wird, nur eine geringe Spannung an. Wird dagegen der eine Pol mit der Erde in Verbindung gesetzt, so steigt die elektrische Spannung am andern Pol auf das Doppelte. Die elektrische Differenz zwischen den Polen bleibt aber dieselbe; denn sie ist bei isolirten Polen und n Elementen gleich $nE - (-nE) = 2nE$, und wenn der negative Pol mit der Erde verbunden ist, gleich $2nE - o$.

Auch auf dem Schliessungsdraht ist die Spannung der freien $+E$ und $-E$ in der Nähe der Pole am grössten und nimmt nach seiner Mitte ab. Wenn man diese Spannung an einem Punkt, nahe bei einem der Pole durch S und die an einem andern, um die Länge l weiter entfernten Punkt durch s ausdrückt, also $S-s$ die Abnahme der Spannung auf die Länge l ist, so ist diese Abnahme auf die Länge 1 gleich $\frac{S-s}{l}$. *Ohm* und *Kohlrausch* haben diesen Ausdruck das *Gefäll* genannt, und der Letztere hat durch sehr genaue Versuche bewiesen, dass in einem gleichmässigen Schliessungsdraht das freie $+E$ und $-E$ bis zur Mitte, wo sie gleich Null werden, ein gleichmässiges Gefäll haben, und dass dieses überhaupt um so grösser wird, je kleiner die *reducirte Länge* des Schliessungsdrahtes ist.

Die Spannung der Elektrizität an den Polen ist gewissen Veränderungen unterworfen, die man ihr Wogen nennt. *Marianini* fand durch Versuche mit dem Condensator, dass eine Säule, welche eine Zeit lang durch einen Draht geschlossen war und wieder geöffnet wird, eine viel schwächere Intensität an ihren Polen zeigt, und dass die Abnahme dieser Intensität in den ersten Augenblicken, nach dem Anfange ihrer Wirksamkeit sehr gross ist, und sich nach und nach vermindert; nach längerer Zeit wird sie unmerklich. Je grösser durch Anwendung concentrirter Säuren die elektrische Intensität der Pole war, desto schneller ist auch die Abnahme derselben, und je länger eine Säule geschlossen war, desto länger dauert es auch, bis sie wieder eine grössere Intensität erlangt.

Die Menge der entwickelten Elektrizität einer Säule ergibt sich schon daraus, dass, wenn man von jedem Pole derselben einen Metalldraht zu den beiden Belegungen einer noch so grossen Batterie führt, diese augenblicklich mit der ganzen Intensität der Säule geladen wird. Doch ist auch diese Ladung bei der geringen Spannung kaum zu bemerken; dagegen hat sie *Faraday* auf folgende Weise zur deutlichen Wahrnehmbarkeit gebracht. Ein 100 engl. Meilen langer, mit Gutta percha überzogener Telegraphendraht wurde in's Wasser gehängt und seine isolirten Enden in ein Zimmer geführt. Der eine Pol einer *Volta*schen Kette wurde mit der Erde verbunden, der andere mit dem *einen* Drahtende. Dadurch erhielt der Draht z. B. positive, das Wasser, das ihn umgab, negative Elektrizität. Als man den Draht kurz nach der Berührung von der Kette trennte, war er eine kurze Zeit wie eine Leidner Flasche geladen und ertheilte kräftige Schläge, wenn man ihn und die Erdleitung zugleich berührte. Die Kette hatte also eine ungeheure nge Elektrizität an ihn abgegeben. In der Luft hängend, zeigte der

Draht diese Ladung nur in sehr schwachem Grade, weil hier die dem Wasser entsprechende äussere Belegung fehlte. Die Intensität der Ladung war bei dem obigen Versuch nur gleich der Intensität des Pols der Batterie. Wegen der grossen Menge der Elektrizität (die Oberfläche des Kupferdrahtes betrug nämlich 8300 □Fuss und die Wasserbelegung das vierfache) hatte der Draht, nachdem er von der Kette getrennt worden, alle Kraft einer bedeutenden Batterie und gab Resultate, wie sie mit keiner Elektrisirmaschine und Leidner Flasche noch erreicht worden sind.

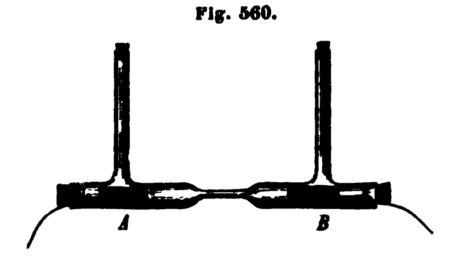
Hieraus erklären sich auch die grossen Verschiedenheiten in der Geschwindigkeit der Elektrizität in Metalldrähten (vergl. §. 421) bei den Telegraphen, die bald in der Erde liegen, bald im Wasser und an Wänden hinlaufen oder in freier Luft hängen; denn sendet man einen galvanischen Strom durch das eine Ende in einen langen Draht, der durch einen Ueberzug isolirt ist und im Wasser liegt, so wird im Anfang ein Theil seiner Wirkung die sein, ringsum eine Vertheilung zu veranlassen. Diese wird erst, wenn im ganzen Draht die Spannung der Elektrizität gleich gross geworden ist, gestatten, dass der austretende Strom die nämliche Stärke hat, wie wenn der Draht vollkommen isolirt in der Luft hienge. Es verfliessen aber darüber oft mehrere Sekunden.

Die Spannung an den Polen der Kette wird auf die Seite 570 Anm. 10, angegebene Art durch Isolirung der Elemente der Kette sehr erhöht, und war bei der Seite 571 beschriebenen Wasserbatterie von *Gassiot* dennoch nur hinreichend gross, um ein Goldblattelektroscop zwei bis drei Zoll an einem der Pole divergiren zu machen.

Wenn ein mit Wasser gefülltes Glas durch eine Blase in zwei Zellen getheilt ist, und in jede Zelle ein Platinblech taucht, von denen das eine mit dem positiven, das andere mit dem negativen Pol einer Kette verbunden ist, so wandert ein Theil des Wassers in die negative Zelle. *Wiedemann* brachte in ein so getheiltes Glasgefäss verschiedene leitende Flüssigkeiten. Als er nun das eine Fach mit dem positiven, das andere mit dem negativen Pol einer Kette in Verbindung setzte, wurde stets ein Steigen der Flüssigkeit in dem negativen Gefäss beobachtet, und es zeigte sich, dass die Menge der *hineingeführten Flüssigkeit der Stromstärke proportional ist.* Diese Flüssigkeitsmenge ist um so grösser, je kleiner das Leitungsvermögen der Flüssigkeit ist.

In der Folge hat *Quincke* gefunden, dass jeder Strom der Elektrizität diese Eigenschaft hat; dass aber einige Flüssigkeiten wie Alkohol und Terpentinöl zum positiven Pol übergeführt werden. Die übergeführte Menge ist auch da der Stromstärke und der elektromotorischen Kraft proportional; mit Hilfe des Apparates, Fig. 560, kann man diese Versuche leicht anstellen. Die Platinbleche *A* und *B* sind mit den Polen einer Volta'schen Kette, einer Leidner Flasche oder einem Inductions-Apparat in Verbindung. Die Glasröhre, welche die Flüssigkeit enthält, ist in der Mitte verengt, weil dadurch die übergeführte Menge, also auch die Differenz der Flüssigkeitshöhen in den angesetzten Seitenröhren grösser wird. Mischt man dem Wasser fein vertheilte Metalltheilchen bei, so wandern diese nach dem positiven Pol; ebenso

Fig. 560.



sehr kleine Luftbläschen, während alle diese Körper im Terpentinöl nach dem negativen Pol wandern.

Leitet man den Strom einer starken Batterie durch zwei mit destillirtem Wasser gefüllte Gläser, die durch einen benetzten Seidenfaden verbunden sind, so steigt, wie bei dem in §. 426 beschriebenen Versuche mit der Hydroëlektrisirmaschine, das Wasser in dem Glas, welches mit dem negativen Pol verbunden ist.

Nach *Wertheim's* Versuchen wird die Elastizität von Metalldrähten durch den Strom vermindert, und zwar nicht durch die entstehende Wärme allein, sondern auch durch die Elektrizität; ebenso nimmt auch die Cohäsion ab, während ein Strom durch einen Draht geht.

Eine vollkommen geschlossene Kette hat auf das Korkkugel-Elektroscop nicht mehr Wirkung, als ein einziges Plattenpaar; dagegen haben die Schliessungsdrähte, welche von dem elektrischen Strome durchlaufen werden, auf einander sehr merkwürdige Wirkungen, welche *Ampère,* dem man die wichtigsten Entdeckungen in dieser Beziehung verdankt, mit dem Namen *elektrodynamische* Erscheinungen bezeichnet. Doch werden diese zweckmässiger mit denjenigen Erscheinungen abgehandelt, welche auf der wechselseitigen Einwirkung der Magnete und der elektrischen Leiter beruhen, und in dem letzten Abschnitte vorkommen werden.

§. 447.

b) *Licht-Erscheinungen.* Wenn man die Pole einer Kette durch einen spitzen Metallstab verbindet, so entsteht im Augenblicke der Unterbrechung ein sehr lebhafter Funke, welcher stets unter Wasser und in einer Lichtflamme noch sichtbar ist. Man kann seine Helligkeit sehr erhöhen, wenn man die Draht-Enden, an welchen die Funken überspringen, mit Quecksilber amalgamirt, wobei ein Theil des letztern verbrennt. Solche Funken sind klein, weil die Spannung der Elektrizität gering ist. Die stärkste Säule hat darum auch keine grössere Schlagweite als oben die Wasserbatterie von *Gassiot. Davy* hat aber gefunden, dass, wenn einmal die Polardrähte in Contact gebracht sind, die Entladung auch bei allmäliger Entfernung der Drähte durch eine beträchtliche Luftstrecke geht. Es zeigt sich alsdann ein glänzender Lichtbogen, wie in Fig. 561, welcher von einem lebhaften Geräusch begleitet ist und die nämlichen Wirkungen auf die Magnetnadel hat, wie der galvanische Strom. Metall- oder Kohlentheilchen werden dabei von dem einen Pol zu dem andern, jedoch mehr vom positiven zu negativen übergeführt, und diese erleichtern die Ueberführung der elektrischen Entladung. Von dem Lichtbogen ist der innere Theil cylindrisch, der äussere, weniger glänzende Theil ist nach der Natur der Elektroden verschieden gefärbt und kann durch einen Luftstrom seitlich bewegt werden. Dieser zweite Theil wird zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets bald angezogen bald abgestossen, wovon der Grund später angegeben werden wird.

Fig. 561.



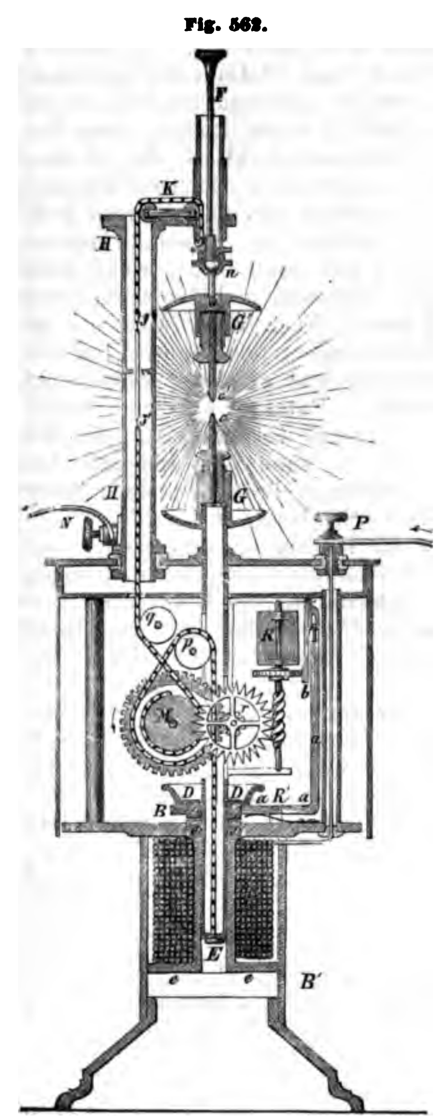
Befestigt man an die Pole einer starken *Volta*'schen Batterie zwei Kupferdrähte, und an diese zwei Kohlenspitzen oder Kegel von Coaks, so zeigt sich das elektrische Licht, sobald man letztere in Berührung gebracht hat und wieder trennt. Tränkt man die Kohlen mit flüssigen Substanzen, besonders mit Kalihydrat oder Glaubersalzlösung, so wird die Länge des Lichtbogens vergrössert. Er zeigt sich selbst im luftleeren Raum und unter Wasser. In letzterem hört aber die Ueberfüh-

rung von Kohlentheilchen auf. Dabei geht das elektrische Licht von dem negativen Pole aus, wie *Neeff* zuerst beobachtet hat. Ist nämlich die Batterie schwach und z. B. durch zwei feine Platindrähte geschlossen, die häufig einander genähert und wieder getrennt werden, damit kein Glühen stattfindet, so sieht man mittelst einer Loupe, dass der negative Draht von blendend weissen Pünktchen bedeckt ist, die oft ihre Stelle wechseln und von einer schwach leuchtenden violetten Flamme eingehüllt sind. Diese Lichtpünktchen erscheinen nie am positiven Pol; dagegen fängt dort der Draht zuerst zu glühen an. Desshalb nimmt man diese Erscheinung bei starken Ketten nur dann wahr, wenn man die Kette durch sehr dichte Kohlenstücke schliesst, und die Schliessung unterbricht, ehe das Glühen anfangen kann. Nach *Riess* wird nur in stark verdünnter Luft und bei geringer Entfernung der negative Pol mit Glimmlicht bedeckt, bei geringer Verdünnung und grösserer Entfernung dagegen glimmt auch die positive Elektrode. Entladet man eine starke Batterie durch zwei in scharfe Kegel auslaufende Eisencylinder, die mit ihren Spitzen gegen einander gekehrt sind, so kann man sich mit den Fingern überzeugen, dass das mit dem negativen Pol verbundene Eisen noch kalt ist, während das positive schon sehr heiss ist.

Das Licht des Lichtbogens zeigt im Prisma ein Spectrum; nur befinden sich statt der dunkeln Linien *Fraunhofer's* helle Streifen darin, die modificirt werden, je nachdem die Polardrähte von Kohle oder verschiedenen Metallen sind, wie schon im §. 254 erwähnt ist. Das Licht hat bei einer Kette von 100 *Bunsen*'schen Elementen die Stärke von 500 bis 600 Wachskerzen. Der Glanz dieses Lichtes ist nach *Foucault* ohngefähr dem vierten Theil von dem der Sonne gleich. Bei 100 Elementen können schon sehr schmerzliche Augenleiden entstehen; bei 600 Elementen verursacht das Licht heftige Kopf- und Augenschmerzen und das Gesicht wird verbrannt, wie beim Sonnenstich. Desshalb sind die Augen durch Brillen mit dunkelblauen Gläsern zu schützen. Den Lichtbogen kann man auch zwischen einem Metalldraht und jeder leitenden Flüssigkeit hervorbringen, wozu sich besonders Quecksilber und Chlornatriumlösung eignen.

Das elektrische Licht wird zu optischen Versuchen, zur Mikroscopie statt der Sonne und zur Beleuchtung angewandt. Damit es während mehrerer Stunden constant bleibt, bedient man sich der von *Foucault* erfundenen und von *Duboscq* verbesserten elektrischen Lampe, Fig. 562, oder einer ähnlichen Vorrichtung, welche die Unterbrechung des Stromes einer starken *Grove*'schen oder *Bunsen*'schen Kette möglichst verhindert. Dieser Strom geht von der Kohlenspitze c nach der Kohlenspitze c'. Die Lebhaftigkeit des Lichtes hängt von dem Abstand dieser Spitzen ab. Der ganze Mechanismus hat keinen andern Zweck, als diesen Abstand, so wie den Mittelpunkt desselben zu fixiren; denn letzterer verändert sich sowohl durch die Verbrennung der Kohle als durch die Ueberführung von Kohlentheilchen vom positiven Pol c zum negativen c'. Die besten Kohlenspitzen werden aus dem Rückstand in den Gas-Retorten geschnitten. Die Mitte zwischen den Spitzen c und c' wird durch zwei Mechanismen, den Motor M, den Regulator RR' und den Elektromanet BB' stets auf gleicher Höhe erhalten. Der Motor sucht die Spitzen einander stets zu nähern. Er besteht aus einer Feder, welche in die Trommel M eingeschlossen ist und eine Umdrehung dieser Trommel nach der Richtung des Pfeils bewirkt. Dadurch wird das Kettchen, welches von der Trommel M über die Rolle p nach E läuft, wo sein anderes Ende befestigt ist, aufwickelt. Das Ende E hebt also das kupferne Röhrchen EG, in welchem die Kohle c steckt. Zu gleicher Zeit wickelt sich das andere Kettchen ab, welches an der Rolle q vorbeistreift und sodann in einer metallenen Säule hinauf bis über die Rollen bei K läuft und an dem die

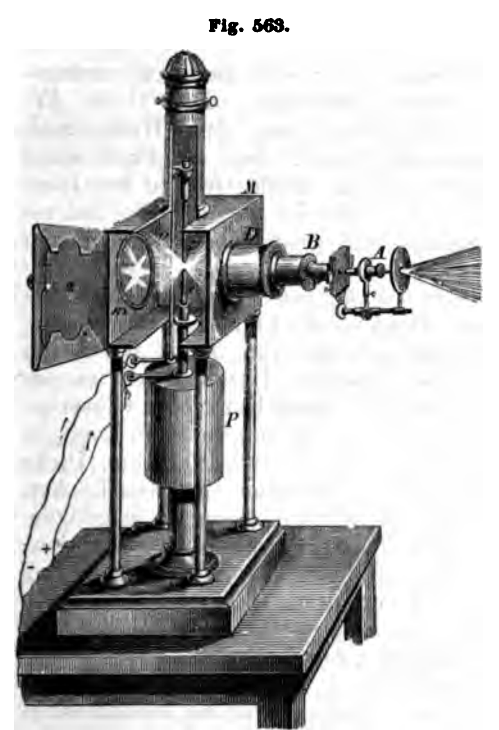
Fig. 562.



Fassung G' für die Kohlenspitze c' hängt. Dadurch wird c' gesenkt, wenn der Motor M in Bewegung ist. Beide Kohlenspitzen nähern sich also, wenn M sich dreht und mit den Zähnen seines Umfangs in den Trieb des Rädchens r eingreift. Die Bewegung von r wird auf die Schraube ohne Ende und auf die Windflügel R des Regulators übertragen. Der Widerstand der Luft verhindert, dass sich R und folglich M nicht zu schnell drehen kann. Der elektrische Strom selbst geht von der Batterie zu der isolirten Klemmschraube P und von da hinab durch einen mit Seide übersponnenen Draht zu der Drahtspirale des Elektromagnets BB', welche in vielen Windungen den hohlen eisernen Cylinder $eeee$ umgibt. Das eine Ende dieser Spirale steht also mit P, das andere mit dem eisernen Cylinder ee und dadurch mit dem Kupferröhrchen EG in Berührung. So gelangt der Strom nach c, und wenn c' nahe genug ist, nach c'. Von G' geht er dann in das Säulchen HH und nicht durch die Kette nach q und M, weil das Kettchen bei JJ' durch ein Elfenbeinstäbchen unterbrochen ist. Eben so ist die Säule HH isolirt; der Strom kann also nur durch die Klemmschraube N und den daran befestigten Leitungsdraht nach dem negativen Pol der Batterie gehen. So wie aber ein Strom durch die Kohlenspitzen geht, so beginnt auch die Wirkung des Elektromagnets und des Regulators. Es wird nämlich durch den magnetisch gewordenen Cylinder $eeee$ das ringförmige Eisen DD angezogen; dieses drückt dadurch das linke Ende des Hebels aaa herab. In Folge davon wird das obere Ende von aaa links bewegt und drückt die Scheibe b in die Zähne eines Rädchens, welches senkrecht zur Achse der Schraube ohne Ende ist. Dadurch wird der Windflügel R und der Motor M gehemmt und die Annäherung der Kohlenspitzen verhindert. Sobald aber diese so weit abgebrannt sind, dass der Strom zwischen ihnen einen zu grossen Widerstand findet, ist auch der Elektromagnet BB' geschwächt und lässt den eisernen Ring DD wieder los. Ein Federchen drückt den Winkelhebel aaa auf der linken Seite wieder aufwärts und die Scheibe b verlässt das Rädchen am Windflügel wieder. Der Motor kann also die Kohlenspitzen wieder nähern, bis das elektrische Licht und damit auch der Strom wieder seine ganze Stärke hat, folglich eine neue Hemmung eintritt u. s. w. So wird durch abwechselndes Nähern und Hemmen der Kohlenspitzen das Licht constant erhalten. Damit aber die Mitte des Abstands der Kohlenspitzen immer gleiche Höhe über dem Boden der Lampe behält, muss sich c' langsamer senken, als c sich hebt, denn von c werden viele Kohlentheilchen nach c' übergeführt. Desshalb ist das zweite Kettchen um eine engere Trommel auf dem Motor M gewunden, als das erste; auch kann der Durchmesser der einen Trommel nach Bedarf durch einen Mechanismus vergrössert werden. Das Stäbchen F, an welches der Halter G' befestigt ist, dient dazu, um die Kohlenspitzen in vertikaler Linie einander genau gegenüber zu bringen, indem

es sich in der Nuss *n* nach allen Richtungen ein wenig neigen lässt. Die Batterie besteht aus 30 bis 50 *Grove*'schen oder noch mehr *Bunsen*'schen Elementen. An dieser Durchschnitts-Zeichnung ist die Säule *HH* nur halb so hoch als sie im Verhältniss sein soll. Die Fig. 563 zeigt das richtigere Verhältniss der elektrischen Lampe *P* und des photogenischen Apparates, in dem sie aufgestellt wird. Der auf vier Säulen ruhende rectanguläre Kasten ist von Messing, und es können daran alle optischen Apparate für objective Darstellung der Polarisations-Interferenz- oder Fluorescenz-Erscheinungen oder auch ein Sonnenmikroscop *DBA* befestigt werden. Der Mittelpunkt zwischen den Kohlenspitzen *cc'* entspricht genau der Achse der Sammellinse des Mikroscops und ihrer Brennweite. Dadurch werden die vom elektrischen Licht kommenden Strahlen parallel mit der Achse und wirken wie die Sonnenstrahlen des Heliostats. Ein Hohlspiegel *mo* von Metall hat den Zweck, auch das Licht von der Rückseite zu benutzen. Sobald die Thüre des Kastens geschlossen und die Hälfte des auf ihm stehenden, halb offenen Cylinders herumgedreht ist, kann nur durch *DB* Licht in das Zimmer gelangen. Aehnliche elektrische Lampen hat man als *Solarlicht* zur Strassenbeleuchtung anzuwenden gesucht und mit Erfolg bei nächtlichen Arbeiten an Bauten verwendet.

Fig. 563.



Befindet sich in *D* eine Linse, deren Brennpunkt im elektrischen Lichtbogen liegt, und befestigt man davor einen verticalen Spalt, so geht ein paralleler Lichtbüschel durch diesen; man kann den Spalt alsdann durch eine davor gestellte zweite Linse auf einen Schirm deutlich projiciren. Stellt man nun hinter die zweite Linse ein Prisma, so gibt dieses in einem dem Abstand des Schirmes gleichen Abstand ein deutliches Spectrum der Flamme. Mit einer cylindrischen, planconvexen Linse statt der zweiten Linse und zwei Schwefelkohlenstoff-Prismen, kann man alle in §. 254 angeführten Spectral-Erscheinungen auf diese Art sehr deutlich objectiv darstellen. Die verbrennenden Körper müssen auf die untere Kohlenelektrode gelegt werden, die zu diesem Ende ausgehöhlt ist.

§. 448.

c) *Wärme-Erregung.* Entladet man eine zusammengesetzte Kette durch einen feinen Eisendraht, so brennt seine Spitze unter Funkensprühen ab. Noch lebhafter findet das Verbrennen von unächtem Blattgold, von Zinkplättchen oder von Quecksilber statt, welche man an dem einen Pole der Säule in Verbindung mit einem Drahte bringt, der den andern Pol berührt. Untersucht man die Temperatur eines durch den Strom erhitzten Schliessungsdrahtes an verschiedenen Stellen, so ist sie überall gleichförmig mit Ausnahme der Enden, die mit andern Leitern in Berührung stehen. Letztere können so viel Wärme ableiten, dass der Schliessungsdraht oft nur in der Mitte glüht. Die erwärmende Kraft richtet sich *mehr nach* der Grösse als nach der Anzahl der Plat-

ten, weil der Widerstand im Schliessungsdraht gering ist. Auch erhitzt der Strom schlechte Leiter mehr als gute. Die Wärme-Entwicklung scheint darum eine Folge des Hindernisses in der Verbindung beider Elektrizitäten.

In der That hat *Joule* durch Messung der von dem Schliessungsdraht der Kette entwickelten Wärmemenge gefunden, dass 1) *die Erwärmung des Drahtes in gleichem Verhältniss mit dem Widerstande wächst, welchen er dem Strome entgegensetzt,* und 2) *dass die Erwärmung dem Quadrate der Stromstärke proportional ist.* Beide Gesetze hat *Riess* schon für den Strom der Leidner Flasche gefunden, und *Botto* hat sie durch Messung der von dem Schliessungsdraht geschmolzenen Eismengen bestätigt gefunden.

Von der Richtigkeit dieser Gesetze kann man sich am leichtesten mittelst des *Galvanothermometers* von *Poggendorff*, Fig. 564, überzeugen.

Fig. 564.



Ein dünnes Glasfläschchen von 5 bis 6 Centim. Höhe und 3 bis 4 Centim. Durchmesser ist am Boden durchbohrt, um einen Kork oder Glasstöpsel aufzunehmen. Durch diesen geht ein Loch, in welches der Silberdraht *a a*, von 2 Millim. Dicke befestigt wird. Dem *a* gegenüber sind drei Löcher, um drei Silberdrähte wie *b b*, darin zu befestigen. An *a* werden drei feine, spiralförmig gewundene Platindrähte, deren Längen oder Widerstände sich z. B. wie 1 : 2 : 3 verhalten, eingeschraubt. Diese Platindrähte werden auf gleiche Weise an den drei isolirten Silberdrähten *bb*, befestigt. Das Fläschchen wird mit Alkohol gefüllt. Ein getheiltes Glasrohr von etwa 1 Millim. innerem Durchmesser, welches unten konisch in den Hals des Fläschchens eingeschliffen ist, dient als Thermometer-Rohr, indem es die Erwärmung des Weingeistes angibt. Leitet man nun den Strom einer Kette durch den Platindraht 1, und hat man ihn durch Einschalten eines Widerstandes so geschwächt, dass er eine bestimmte Ablenkung des gleichfalls eingeschalteten Galvanometers oder der Tangenten-Boussole hervorbringt, so wird die Flüssigkeit in einer bestimmten Zeit, z. B. in 5 Minuten bis zu einem gewissen Punkt der Glasröhre steigen. Lässt man die Flüssigkeit wieder auf die Temperatur der äussern Luft erkalten, und leitet man einen Strom durch den zweiten Platindraht, regulirt ihn aber so, dass er die vorige Stärke hat, so wird in derselben Zeit von 5 Minuten der Weingeist sich bis zu einem andern Theilstrich der Röhre ausdehnen. Eben so verfährt man bei dem dritten Platindraht. Man wird alsdann immer finden, dass sich die Erwärmungen oder die Ausdehnungen der Flüssigkeit wie die Widerstände des eingeschalteten Platindrahtes verhalten. Lässt man aber durch denselben Platindraht unter verschiedenen Widerständen zwei Ströme gehen, deren Intensitäten sich nach Angabe des eingeschalteten Galvanometers z. B. wie 2 : 3 verhalten, so findet man, dass die Ausdehnung des Alkohols durch den ersten Strom zu der durch den zweiten sich in gleicher Zeit verhält wie 4 : 9. Auch das Galvanothermometer könnte man anwenden zur Prüfung der Ohm'schen Gesetze.

Man wird z. B. finden, dass wenn der Widerstand in der Kette und in dem ausserhalb des Alkohols befindlichen Draht gerade so gross ist als der des Platindrahtes, auch die Erwärmung ein Maximum wird für die gleiche Stromstärke.

Folgende Versuche bestätigen die obigen Gesetze: Wenn ein längerer Platindraht durch den Strom nur schwach glüht, und man erkältet die eine Hälfte durch Eis, so wird die andere Hälfte lebhafter glühen, weil der Widerstand durch die Abkühlung kleiner, der Strom also stärker wird; erhitzt man dagegen einen Theil desselben durch eine Weingeistlampe, so glüht der andere schwächer, weil der Widerstand vermehrt, der Strom also schwächer wird. Bei gleichem Querschnitt glüht ein plattgedrückter Draht weniger als ein runder, weil seine grössere Oberfläche mehr Wärme ausstrahlt.

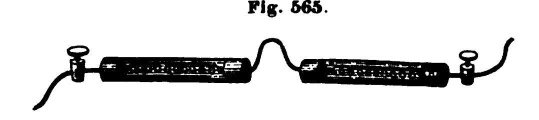
§. 449.

Verbindet man mehrere Grove'sche oder Bunsen'sche Kettenglieder mit einander, so kann man die stärkste Licht- und Wärme-Entwicklung hervorbringen. Zu nachstehenden Versuchen genügen schon 10 bis 20 Grove'sche Elemente. Man befestigt an beiden Polen starke Kupferdrähte und bringt an ihren Enden Platindrähte, Kohlenspitzen, Kegel von Coaks oder andere Metalldrähte so an, dass die Leitung vom Kupferdraht zu ihnen vollkommen gut ist. Kommen alsdann die Platindrähte in Berührung, so kann man sie am Berührungspunkte schmelzen und zusammenlöthen, legt man sie in eine kleine Menge Salzlösung, so geräth diese bald in's Sieden. Bringt man die Kohlen- oder Coaksspitzen in Contact, so entsteht ein für die Augen oft unerträgliches Licht; trennt man die Kohlenstücke wieder, so dauert diese Lichtentwicklung fort, es zeigt sich, wie schon oben bemerkt, ein prächtiger Lichtbogen von einem Stück zum andern, und die Kohlentheilchen werden nach allen Seiten umhergeworfen. Ein Theil derselben hängt sich aber auch an der negativen Coaksspitze kegelförmig an, während an der positiven Seite ein Grübchen entsteht. Daraus schloss man, dass die Materie bloss vom positiven Pol zum negativen übergeführt werde. Diess ist aber nicht der Fall, denn die Kohlenstücke an beiden Polen, so wie auch Metalldrähte, welche diese Erscheinung zeigen, werden beide leichter. Ohne dass vorher Berührung stattgefunden hat, kann man diese Ueberführung und den Lichtbogen nicht hervorbringen, ausser wenn man durch die einander sehr nahe stehenden Pole den Funken einer starken Leidner Flasche schlagen lässt. Im luftleeren Raum findet jenes Uebergehen und Leuchten ohne Verbrennung statt, und die Lichterscheinung ist sogar noch prachtvoller. Bestehen die Polardrähte aus zweierlei Metall, so wird, nachdem sie sich im luftleeren Raum berührt haben, oder die Ueberführung durch den elektrischen Funken bewirkt worden ist, jedes der beiden Metalle zum andern übergeführt, und man findet nachher auf jedem einen Ueberzug von dem andern. Das Glühen fängt dabei stets auf der positiven Seite an, wenn die Wärme-Entwicklung nicht zu rasch ist, und die Versuche von *de la Rive* und Andern beweisen, dass letztere hauptsächlich vom positiven Pol ausgeht, während, wie oben erwähnt wurde, *Neeff* die Lichtentwicklung am negativen Pol nachgewiesen hat. Ebenso zeigen obige Erscheinungen, dass am positiven Pol eine Lostrennung, am negativen eine Verdichtung für die übergeführten Theilchen stattfindet, welche nicht auf gleiche Art in umgekehrter Richtung hervorgebracht werden kann.

Die von *Grove* gemachte Entdeckung, dass eine vom galvanischen Strom erhitzte Spirale im Sauerstoff und Stickstoff und in der atmosphärischen Luft weissglühend, in der Kohlensäure kirschroth und im Wasserstoffgas *gar nicht* leuchtet, hat offenbar darin ihren Grund, dass das Wasserstoffgas die Wärme und Elektrizität sehr gut leitet, während die andern Gase schlechte Leiter sind.

Man stellt diesen Versuch am leichtesten auf folgende Art an. Zwei Glasröhren von 1/3 Zoll Durchmesser können, wie in Fig. 565, an beiden Enden mit Kork verschlossen werden, durch welchen starke Kupferdrähte hineinreichen, an dessen Enden feine spiralförmige Platindrähte von 1/80" Durchmesser gelöthet sind. Füllt man nun die eine Röhre mit Sauerstoffgas nnd die andere mit Wasserstoffgas und leitet man einen Strom von 6 bis 8 *Grove*'schen Kettengliedern hindurch, so wird der Platindraht im Sauerstoff weissglühend und der im Wasserstoffgas nicht. Legt man beide Röhren in zwei getrennte Schalen mit gleich viel Wasser, so wird das Wasser, welches die Sauerstoffröhre umgibt, wärmer als das, welches die Wasserstoffröhre umschliesst, weil der heiss gewordene Draht im Sauerstoff schlechter leitet und darum mehr Wärme entwickelt.

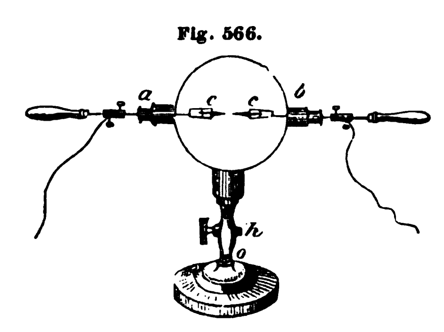
Fig. 565.



Mit 60 bis 70 *Grove*'schen oder *Bunsen*'schen Elementen schmilzt man Quarz und Kalk, der Lichtbogen wird dadurch gross und prachtvoll, selbst gefährlich für die Augen.

Um das Glühen und die Lichtentwicklung im luftverdünnten Raum zu zeigen, bedient man sich einer an drei Seiten tubu'irten Glaskugel, Fig. 566. Durch die zwei gegenüberstehenden Oeffnungen *a* und *b* gehen starke Drähte, die sich luftdicht in Kapseln verschieben lassen, welche auf diese Oeffnungen gekettet sind; die dritte Oeffnung ist mit einem metallenen Hahn *h* und einer Schraube *o* versehen, um auf die Luftpumpe befestigt zu werden.

Fig. 566.



Das Glühen eines dünnen Eisen- oder Platindrahtes durch den galvanischen Strom wird zum Sprengen von Pulverminen über und unter dem Wasser benutzt. Man befestigt zu diesem Ende in ein Glasröhrchen, welches Pulver enthält, mit Korkholz zwei starke Drähte, die in der Mitte durch ein feines, kurzes Drähtchen verbunden sind, und verkittet alsdann die Korkpfropfen. Die beiden Drähte werden mit den Polardrähten verbunden, die zur Batterie führen. Um die Entzündung zur rechten Zeit herbeizuführen, kann man die Batterie in die Nähe der Mine stellen, nur einen Polardraht an ihr befestigen und den andern an einer mechanischen Vorrichtung so anbringen, dass er, sobald man an einer Schnur zieht, mit dem Pol in Berührung kommt. Statt der Volta'schen Säule wendet man in neuerer Zeit die Leidner Flasche und Elektrisirmaschine mit Vortheil an, indem man die Funken in eine Patrone zwischen eine Mischung von 2 Theilen Schwefelantimon und 1 Theil chlorsaurem Kali überspringen lässt, die sich und das Pulver entzündet.

Die kleinste geschlossene Kette, welche die erwärmende Kraft der elektrischen Ströme zeigt, hat *Wollaston* aus einem plattgedrückten silbernen Nähringe, in welchem durch Siegellack ein Zinkplättchen befestigt ist, verfertigt. Die beiden Metalle sind durch ein äusserst feines Platinstreifchen verbunden, welches in's Glühen geräth, wenn dieser sogenannte *Fingerhut-Apparat* schnell bis über die Mitte in verdünnte Säure eingetaucht wird.

§. 450.

d) *Physiologische Wirkungen.* Um von der *Volta*'schen Säule einen Schlag zu erhalten, befeuchtet man die Hände mit Salzwasser und be-

rührt damit beide Pole. Die Stärke dieses Schlages wächst mit der Anzahl der Plattenpaare, weil der menschliche Körper ein sehr schlechter Leiter ist. Man kann ihn sehr verstärken, wenn man die Berührungspunkte mit der schlecht leitenden Haut dadurch vermehrt, dass man entweder grosse Metallstücke in die Hände nimmt und damit die Pole berührt, oder die Hände in zwei Schalen mit Salzwasser legt, die durch Drähte mit den Polen in Verbindung stehen. Nach *Marianini* bringt der positive Strom, wenn er sich in der Richtung bewegt, in welcher sich die Nerven ausbreiten, im Augenblick des Eintritts eine Contraction und wenn er aufhört, einen Schmerz hervor. Bewegt er sich in entgegengesetzter Richtung, so erfolgt diese Contraction beim Aufhören des Stromes. Dieser Unterschied findet jedoch nur bei schwachen Strömen statt. Mit Froschschenkeln weist man diese Erscheinung am leichtesten nach, so wie auch die, dass während der Dauer des gleichbleibenden Stromes keine Contraction stattfindet. Nur wenn Veränderungen in der Stromstärke eintreten, erfolgen Zuckungen und diese sind um so bedeutender, je grösser die Veränderungen des Stroms in der gleichen Zeit sind, je häufiger er also unterbrochen wird. Hierauf gründet sich die Wirkung des *Blitzrades* von *Neeff*. Auf einer Kupferscheibe, deren Achse mit dem einen Pol der Säule in Verbindung steht, sind Einschnitte angebracht, welche mit Ebenholz eingelegt sind. Ein leitender Draht berührt bei der Drehung der Kupferscheibe bald das Kupfer, bald das Ebenholz, und bringt dadurch in schneller Abwechslung bald eine Verbindung der beiden Pole, bald eine Trennung derselben hervor. Wird dieser so unterbrochene Strom durch den Körper geleitet, so können bei 160 Schlägen in einer Sekunde mit wenigen Platten dieselben Wirkungen auf die Nerven hervorgebracht werden, als durch den fortdauernden Strom der Batterie von vielen Platten. Man kann den Schlag ebenfalls durch mehrere Personen leiten, die sich mit feuchten Händen berühren. Ein schwacher Strom bringt schon in dem Auge einen Lichtschein, in den Ohren ein besonderes Geräusch und in dem Munde auf der positiven Seite einen sauren, auf der negativen einen davon verschiedenen Geschmack, den Manche alkalisch finden wollten, hervor. Eine längere Wirkung der Säule auf den Körper veranlasst lange dauerndes Uebelbefinden. Die Versuche über die Zuckungen an den Cadavern von Menschen und grössern Thieren sind äusserst merkwürdig. *Ure* beobachtete an einem seit einer Stunde Gehängten, der am Kopf mit dem einen, und an der Ferse mit dem andern Pole in Verbindung stand, beim Schliessen der Kette eine furchtbare Thätigkeit der Muskeln, so dass Wuth, Verzweiflung und Angst mit schrecklichem Lächeln sich nach einander im Gesichte ausdrückten, ja es trat sogar ein tiefes und angestrengtes Athmen ein.

Mit dem Kopfe eines kurz zuvor getödteten Schafes kann man interessante Versuche dieser Art anstellen. Im Kleinen sieht man die Wirkung der galvanischen Elektrizität schon an einem Blutegel, welchen man auf eine Kupfermünze legt, die auf einer Zinkplatte liegt; so oft er diese berühren will, fährt er wie von einem Schreck getroffen zurück. Die Empfindlichkeit für diese Versuche dauert bei Amphibien, Fischen und Insekten nach dem Tode bedeutend länger fort, als bei warmblütigen Thieren. *Giulo* hat selbst an Pflanzen, wie Mimosa pudica und sensitiva, solche Bewegungen mit Hilfe einer Batterie von 50 Platten nachgewiesen.

Zur Hervorbringung physiologischer Wirkungen und zur Anwendung in der

Heilkunst dient besonders leicht die galvanische Kette von *Pulvermacher*. Sie besteht aus einzelnen Holzstückchen *M* und *N*, Fig. 567, von oval cylindrischer Form, um welche neben einander, aber ohne sich zu berühren, ein Zink- und ein Kupferdraht gewunden ist. An dem einen Ende von *M* ist der Zinkdraht *ab* mit dem Kupferdraht von *N* durch einen Draht *cd* verbunden. An dem andern Ende von *M* und *N* sind zwei in das Holz gesteckte, also isolirte Ringe von Metall durch einen Draht verknüpft. Ebenso ist der Zink von *N* wieder mit dem Kupfer eines darauf folgenden Elementes verbunden u. s. w. Das Ganze bildet so eine Kette, wie Fig. 568, von 10 bis 100 Elementen. An beiden Enden bringt man zur Vergrösserung der Berührungsflächen hohle metallische Cylinder *A* und *B* an. Der eine, *A*, kann auch ein Blitzrädchen enthalten, welches durch den Griff *d* aufgezogen wird und durch eine Feder und Regulateur eine Zeit lang schneller oder langsamer sich dreht. Fasst man alsdann die Stücke *A* und *B* mit beiden Händen und hat man die Kette vorher in ein Glas mit verdünntem Essig getaucht, so fühlt man sehr merkliche Erschütterungen. Das poröse Holz kann auch so viel Flüssigkeit ansaugen, dass die Wirkung ziemlich lange anhält. Die Unterbrechung des Stromes bewirkt *Pulvermacher* auch mit Hilfe des sinnreichen und einfachen Apparates Fig. 569. Er besteht in einem Glasröhrchen, an dessen beide Enden Kapseln von Blech *m* und *n* gekittet sind. An die Kapsel *m* ist ein konisch gewundener Spiraldraht *mo* gelöthet, der sich bei *o* in einem kleinen Stern von Kupfer endigt. Wird dieser Apparat bei *m* und *n* in die Kette eingeschaltet, so geht kein Strom durch. So wie er aber durch Zittern oder auf andere Art erschüttert wird, so berühren die Spitzen des Sterns die Kapsel *n* und es entsteht die Herstellung und Unterbrechung des Stromes wie durch ein Blitzrad. Statt der Holzstückchen nimmt *Pulvermacher* in neuerer Zeit Guttapercha-Cylinder, die durchbohrt sind, um Flüssigkeit aufzunehmen.

Fig. 567.

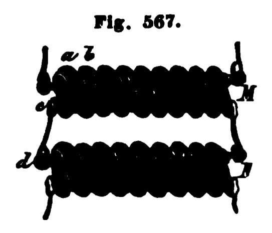


Fig. 568.

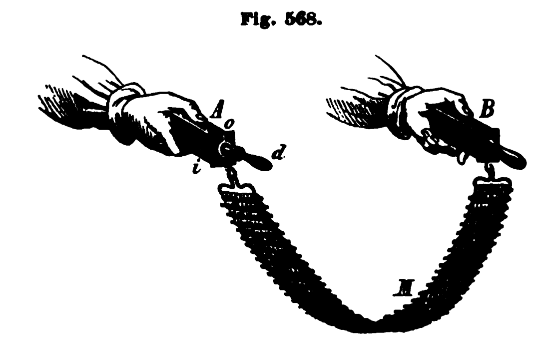
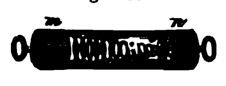


Fig. 569.



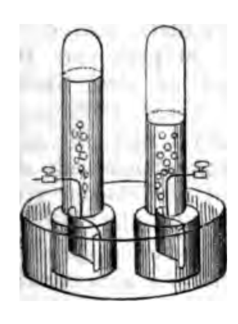
§. 451.

e) *Die chemischen Wirkungen* sind von allen Wirkungen der einfachen oder zusammengesetzten Kette die wichtigsten. Um einen Begriff davon zu erhalten, genügt folgender Versuch:

Wenn man von den Polen einer zusammengesetzten Kette zwei Platindrähte in ein Gefäss mit Wasser leitet, so steigen an beiden Drähten Gasblasen auf. Sammelt man diese Blasen in zwei getrennten Cylindern, die mit Wasser angefüllt sind, so erhält man an dem positiven Drahte oder der positiven Elektrode eine gewisse Menge Sauerstoffgas, und an der negativen Elektrode das doppelte Volumen Wasserstoffgas. Die Produkte der chemischen Wirkung des Stromes oder der Elektrolyirung heissen *Elektrolyten*, und entsprechen hier den Aequivalenten des Wassers, oder nach §. 40 einem Aequivalent Wassertsoff und einem Aequivalent Sauerstoff. Viele Chemiker nehmen an, diess entspreche zwei Atomen Wasserstoff auf ein Atom Sauerstoff; worauf also im Vergleich mit dem Folgenden Rücksicht genommen werden muss.

Mischt man das Wasser mit einer Säure, so ist die Gas-Entwicklung rascher, weil die Flüssigkeit alsdann besser leitet. Ist der positive Draht ein unedles Metall, so erhält man an ihm kein Gas, weil der freiwerdende Sauerstoff das Metall oxydirt. Der Sauerstoff verbreitet dabei, wenn er in grosser Menge entwickelt wird, einen ihm beigemischten Geruch, welches derselbe ist, den man nach S. 540 bei der Elektrisirmaschine wahrnimmt und der von entstandenem Ozon herrührt. Indem dieses zugleich einen Theil des Wassers oxydirt, bildet sich nach *Meidinger* Wasserstoffsuperoxyd. Aus diesen Ursachen erhält man auf 2 Maass Wasserstoffgas weniger als 1 Maass Sauerstoffgas.

Fig. 570.



Den obigen Versuch stellt man am besten mit dem Apparat, Fig. 570, an. Die Glascylinder münden unten in Thoncylinder mit *S* förmig gekrümmten Platinplatten. An jede Platinplatte ist ein Platindraht gelöthet, der zur Seite heraustritt, und durch eine Klemmschraube mit dem Schliessungsdraht verbunden wird. Die angewandte Flüssigkeit ist verdünnte Schwefelsäure von 1,34 Dichte, weil diese besser leitet und wenig Sauerstoff absorbirt.

Die Wasserzersetzung wird nach *Poggendorff* sehr befördert, wenn man die beiden Platinplatten platinirt oder mit galvanisch niedergeschlagener Platina bedeckt hat, wie in einem spätern §. gezeigt werden wird. Steht die eine Platinplatte in einer sauren, die andere in einer alkalischen Flüssigkeit, so ist nach *Poggendorff* die Wasserzersetzung noch lebhafter. In die Kaliauflösung stellt man besser eine Eisenplatte. Beide Flüssigkeiten müssen durch eine poröse Thonwand von einander getrennt, die Platinplatte mit dem positiven und die Eisenplatte mit dem negativen Pol der Kette verbunden sein. Weit vortheilhafter ist es, die beiden Glasröhren in Fig. 570 auf einen einzigen Ring von Thon oder Glas zu befestigen und ihn durch eine Thonplatte, die den Metallplatten parallel ist, in zwei Gefässe abzutheilen. Statt der Thonplatte kann man auch Xyloidinpapier anwenden, das man leicht durch die Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure auf starkes Schreibpapier erhält.

Die Zersetzung des Wassers findet sogar statt, wenn der eine Draht sich in einer mit Wasser gefüllten und durch eine Blase verbundenen Glasröhre befindet, und diese in ein Gefäss mit Wasser getaucht wird, in welchem der andere Draht sich endigt. Dabei erfolgt die Ausscheidung der Bestandtheile an den beiden Polen, ohne dass das Mittel, durch welches die Leitung geht, eine Veränderung erfährt, wenn es auch grosse Affinität zu denselben hat. Nimmt man z. B. drei porzellanene Schalen und setzt die mittlere durch Glasröhren, die mit feuchtem Thon gefüllt sind, mit den äusseren in Verbindung, während die letztern mit den Polen der Säule verbunden sind, so scheidet sich, nach *Davy*, wenn die Schale am negativen Pole die Auflösung von schwefelsaurem Natron, die mittlere Schale Ammoniakauflösung und die dritte Wasser enthält, die Säure an dem positiven Pole aus, ohne das Ammoniak zu verändern. Nach *Faraday* findet sich aber nach einiger Zeit auch unzersetztes Salz in den Gefässen.

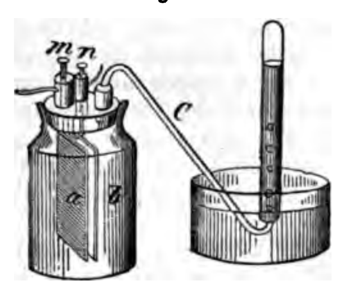
Bei der Elektrolyse des Wassers haben *Ermann*, *Henry* und Andere eigenthümliche Bewegungs-Erscheinungen beobachtet, die keine direkten Wirkungen des Stromes, sondern eine Folge der Elektrolyse sind. Endigt z. B. der negative Pol in einem Quecksilberschälchen und bringt man auf dasselbe einen Tropfen Wasser, so zieht sich dieser bei der Berührung mit dem positiven Draht zusammen; kehrt man aber die Pole um, so breitet er sich weiter aus. Im letzten Fall wird nämlich das Quecksilber durch den aus dem Wasser geschiedenen Sauerstoff oxydirt und dadurch seine Adhäsion an das Wasser vermehrt; im ersten Fall aber wird es durch den ausgeschiedenen Wasserstoff desoxydirt und dadurch seine Adhäsion an das Wasser vermindert. Auf ähnliche Art erklären sich noch viele andere Bewegungen,

die bei Krystallen u. dgl. vorkommen, wenn sie auf gewissen Flüssigkeiten elektrolysirt werden.

§. 452.

Ein Instrument zur genauen Messung der chemischen Wirksamkeit des elektrischen Stromes, welcher durch die zusammengesetzte Kette erzeugt wird, hat man bis jetzt noch nicht. Wohl aber gibt das von *Faraday* erfundene *Volta-Elektrometer* ein Maass für die Quantität des durch die Kette zersetzten Wassers, und für die Stärke des Stromes. Eine passende Form desselben ist in Fig. 571 abgebildet. Ein cylindrisches Glasgefäss ist durch einen eingeschliffenen Stöpsel von Blei geschlossen. Dieser ist an drei Stellen durchbohrt. In zwei dieser Oeffnungen sind Glasröhren gekittet, und in diese zwei starke Kupferdrähte, welche mit den Klemmschrauben *m* und *n* versehen sind. An diese Drähte sind platinirte Platinbleche *a* und *b* von mehreren Quadratzollen Oberfläche gelöthet, die sich parallel und so nahe als möglich gegenüberstehen. In die dritte Oeffnung ist ein Rohr *C* konisch eingeschliffen, welches das entwickelte Gas nach einer graduirten Röhre führt. Das Gefäss wird mit verdünnter Schwefelsäure von 1,34 Dichte gefüllt, und die Klemmschrauben werden mit den Polardrähten verbunden. Indem man einen Strom durch diesen Apparat und zugleich durch eine Tangenten-Boussole gehen liess, hat man gefunden, dass die Quantität des in einer bestimmten Zeit zersetzten Wassers der Stromstärke, also der Tangente des Ablenkungs-Winkels proportional ist, und dass darum gleiche Ablenkungen der Multiplicator-Nadel in gleichen Zeiten gleiche Mengen des zersetzten Wassers geben. Dasselbe geschieht bei der Zersetzung anderer Flüssigkeiten. Wenn bei dem obigen Versuch die Gase in Berührung mit dem Wasser bleiben, so nimmt ihr Volumen bald ab, weil der Wasserstoff durch das entstandene Ozon und Wasserstoffsuperoxyd wieder zu Wasser wird, und auch die beiden Gase durch die katalytische Kraft der Elektroden zum Theil wieder vereinigt werden. Nach *Kohlrausch* ist die Stromstärke in dem zu zersetzenden Körper genau dieselbe, wie in dem Schliessungsdraht. Der Grund, wesshalb eine einfache Zink-Kupfer-Kette kein Wasser zersetzt, sondern mehrere Elemente dazu nöthig sind, ist darin zu suchen, dass die elektromotorische Gegenkraft, welche die Platinplatten des Voltameters durch die an ihnen ausgeschiedenen Gase erlangen, und die man sonst Uebergangs-Widerstand, auch Polarisation nannte, und der Widerstand der Flüssigkeit zusammen genommen grösser sind als die elektromotorische Kraft der einfachen Kette. Mit *einem* *Grove*'schen Element kann man indess auch Wasser zerlegen. Mit einem *Grove*'schen Apparat von 5 Platin-Elementen, deren jedes 7 Zoll lang und 2 Zoll breit ist, erhält man in einer Minute 9 Kubikzoll Knallgas.

Fig. 571.



Den wichtigsten Einfluss auf die Ueberwindung chemischer Verwandtschaft hat nach dem von *Bunsen* entdeckten Gesetze die *Dichte*

des Stromes, d. h. die Stromstärke dividirt durch die Polfläche, an welcher die Zersetzung erfolgt; indem ein Strom von gleicher Stärke, der durch eine kleinere oder grössere Polplatte in eine zu zersetzende Flüssigkeit tritt, letztere in nähere oder entferntere Bestandtheile zerlegen kann. So wird auch in der Lösung einer bestimmten Menge Salzes in Wasser durch einen Strom von gewisser Stärke nur das Salz zersetzt. Ist er stärker, so wird auch das Wasser zerlegt. Vieles hängt auch von der grössern oder geringern Masse des vom Strom durchdrungenen Körpers ab.

Nennt man die durch die Stromeinheit in 1 Sekunde zersetzte Wassermenge a, so ist die durch den Strom S in t Sekunden zersetzte Wassermenge $A = Sat$, folglich ist $S = \frac{A}{at}$. Diess ist das *Faraday*'sche Gesetz für das Voltameter. Zu genauern Messungen dient das von *Poggendorff* angegebene *Silber-Voltameter.* Eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd wird in eine mit dem negativen Pol verbundene Platinschale gegossen. In diese Lösung taucht als positive Elektrode ein mit Batist umwickelter Silberstab. Das Gewicht des am negativen Pol in Blättchen erschienenen und ausgewaschenen Silbers dient als Maass der Stromstärke; die am positiven Pol getrennten Silbertheilchen bleiben in dem Batist zurück.

Nimmt man nach *Bunsen* zur *Maasseinheit für die Stromdichte* den durch eine Polfläche von 1 Quad-Millim. gehenden Strom von der Stärke *Eins;* so ist die Dichte D für den Strom S und den Querschnitt q ausgedrückt durch $D = \frac{S}{q}$. Die Stromstärke S ergibt sich nach §. 438, Anmerkung, mittelst der Tangenten-Boussole durch die Formel

$$S = \frac{r\,T\,\mathrm{tg}\,u}{2\pi}.$$

Es ist folglich

$$D = \frac{r\,T\,\mathrm{tg}\,u}{2\pi q}.$$

Schaltet man also bei einer durch den Strom bewirkten Zersetzung die Tangenten-Boussole in derselben ein, so findet man mit Hilfe dieser Formel aus der bekannten Grösse von r, der beobachteten Grösse von u und durch Einführung des Werthes von T nach *Gauss*'schem Maasse, die Stromdichte auf absolutes Maass zurückgeführt, kann also auch mit Bestimmtheit angeben, bei welcher Stromdichte eine Zersetzung am besten gelingt und gelingen muss. Bei den in §. 451 angeführten Scheidungen der Metalle aus ihren Chlorverbindungen gelang in vielen Fällen die Abscheidung nur, wenn die Stromdichte an der Ausscheidungsstelle sehr hoch gesteigert war.

Wenn man den obigen Apparat so einrichtet, dass sich zwischen den beiden Platinplatten eine dünne poröse Wand, z. B. von Thon oder Blase, befindet, und jede dadurch entstehende Abtheilung ein Rohr wie C erhält, so kann man die beiden Gase auch getrennt auffangen.

§. 453.

Wenn man die im vorigen §. erwähnten Platinplatten des Voltameters, nachdem sie zur Wasserzersetzung gedient haben, von der Batterie trennt, und mit den Drähten eines Galvanometers verbindet, so geben sie einen Strom an, der die entgegengesetzte Richtung von dem vorigen hat. Man erklärt sich diese Erscheinung dadurch, dass an der Oberfläche der positiven Platte Sauerstoffgas, an der negativen Wasserstoffgas verdichtet worden ist, und dass man also gleichsam zwei von einander verschiedene Elektromotore hat. Der Strom dieser Platten geht durch den Schliessungsdraht von der Sauerstoffplatte zu der Wasserstoffplatte, und hat also in der Flüssigkeit die entgegengesetzte Richtung von dem vorigen. Er muss daher den Strom der Batterie schwä-

chen. Auch in andern Fällen lagern sich auf den Polarplatten und Polardrähten Bestandtheile der zersetzten Flüssigkeiten, welche zwischen dieselbe gebracht werden, und verändern ihre Oberfläche, so dass sie selbst nun verschiedene Elektromotore werden, und einen Strom nach entgegengesetzter Richtung erzeugen. Diese Eigenschaft bezeichnete man sonst durch die Ausdrücke *Polarisation* und *Uebergangswiderstand*. Die in §. 441 erwähnte *Ladungssäule* hat ihre Wirksamkeit gleichfalls nur dem Umstand zu verdanken, dass die Oberfläche ihrer gleichartigen Elemente durch die Einwirkung des elektrischen Stromes verändert worden ist, indem die Bestandtheile der Leitungsflüssigkeit auf die gegenüberstehenden Glieder der Kette abgelagert wurden. *Poggendorff* hat sogar nachgewiesen, dass die in §. 439 beschriebene *Gassäule* von *Grove* eine solche Ladungssäule ist, indem die Platin-Elemente der einen Zelle den Sauerstoff, die der andern den Wasserstoff verdichten. Er zeigte ferner, dass man die sogenannte Polarisation zweier Platinplatten, die zur Wasserzersetzung gedient haben, wieder auf zwei andere, jedoch in schwächerem Maasse, übertragen kann, und dass es möglich ist, die Wirkung einer secundären oder Ladungssäule so zu leiten, dass sie durch beständiges Unterbrechen und Wiederherstellen des primären und des secundären Stromes, vermittelst eines Apparates, den er *Wippe* nennt, die Wirkung der primären Kette noch zu erhöhen vermag.

Von dem durch die Verdichtung der Gase entstandenen Widerstand ist noch ein anderer zu unterscheiden, den man den *Widerstand des Uebergangs* nennt. Er tritt ein, wenn eines der ausgeschiedenen Elemente sehr schlecht leitet, oder sich mit der einen Elektrode zu einer schlechtleitenden Verbindung vereint; wie z. B. wenn Schwefel ausgeschieden wird.

Indem *Wheatstone* nach der im §. 444 angegebenen Methode die elektromotorische Kraft zweier Platinplatten, die bei einer *Daniell*'schen Kette von drei Elementen zur Wasserzersetzung gedient hatten, untersuchte, nachdem die Polarisation derselben ein Maximum geworden war, fand er, dass wenn man die elektromotorische Kraft eines *Daniell*'schen Elements $= D$ setzt, die der Platinplatten $= 2{,}33\ D$ ist. Die Stromstärke von drei Daniell'schen Elementen ist $S = \frac{3D}{3w + l}$ und die der polarisirten Platten in entgegengesetzter Richtung: $S_{,} = \frac{2{,}33\ D}{3w + l}$. Die Differenz gibt die Stärke des noch bleibenden Stromes an. Man sieht daraus, warum bei zwei Daniell'schen Elementen die Gegenwirkung der Polarisation dieser Platinelektroden die Umkehrung des Stromes zur Folge hätte.

Auch im Innern einer gewöhnlichen Kette werden die flüssigen Leiter durch den Strom zersetzt, und es kommen also die Bestandtheile mit den gegenüberstehenden Platten in Berührung. Nach *Buff's* Versuchen hat diess aber bei einigermassen starken Strömen keinen beträchtlichen Einfluss auf die elektromotorische Kraft der Kette. Bleibt eine Kette nach dem Gebrauch eine Zeit lang geöffnet, so löst sich ein Theil der von den Elementen ausgeschiedenen Bestandtheile, wie z. B. der Wasserstoff am Kupferelement, in der Flüssigkeit auf, und die Kette

wirkt darum beim Schliessen wieder stärker. Diese und ähnliche Aenderungen in der Stromstärke bezeichnet man mit dem Wort, das *Wogen der Kette.* So werden auch durch Schütteln der Elemente, wie durch Verdünnung der umgebenden Luft und durch Wärme die Gasblasen von ihrer Oberfläche entfernt und der Strom verstärkt.

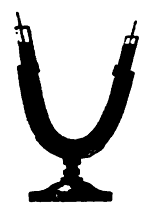
§. 454.

Die im vorigen §. erwähnten Erscheinungen der Polarisation des Uebergangs und die im §. 446 erwähnten mechanischen Fortführungen, finden bei chemischen Zersetzungen oft alle zugleich statt, und erschweren darum bei zusammengesetzten Körpern die Erklärung der Resultate ihrer elektrischen Zersetzung.

Bei Körpern die aus nur zwei Elementen bestehen, ist das Verhalten bald wie beim Wasser, bald verschieden. Bei Sauerstoffverbindungen scheidet sich der Sauerstoff immer am positiven Pole aus; wenn aber Schwefelsäure zersetzt wird, so erscheint der Schwefel am negativen Pol, während er bei der Zersetzung von Schwefelkalium am positiven Pole erscheint. Mit Hilfe der *Grove*'schen Kette kann man die chemische Wirkung der Elektrizität sehr leicht nachweisen. Silberoxyd und alle leicht reducirbaren Metalloxyde zersetzt man, indem man das trockene Pulver auf ein Platinblech legt, welches mit dem positiven Pole verbunden ist, und nun den negativen Polardraht mit dem Metalloxyd in Berührung bringt. Schwerer reducirbare Metalloxyde befeuchtet man mit Wasser. Die Sauerstoffsalze der Alkalien, z. B. den Salpeter, zersetzt man nach *Hittorf* im Platintiegel, und zwar im geschmolzenen Zustand. Man bringt die metallischen Polardrähte in die geschmolzene und fortwährend erhitzte Masse. Der Sauerstoff und die salpetrige Säure entwickeln sich am positiven Pol, am negativen wird der Polardraht, selbst wenn er von Platina ist, oxydirt, daher entstehen dort die farbigen Oxyde. Die Zersetzung von Kali und Natron hat zuerst *Davy* gelehrt. Man höhlt ein Stückchen Kali aus, füllt es mit einem Tropfen Quecksilber und legt es auf ein Platinblech, das mit dem positiven Pol in Verbindung ist. Hierauf berührt man das Quecksilber mit dem negativen Polardraht. Das am negativen Pol ausgeschiedene Kalium amalgamirt sich mit dem Quecksilber und kann durch Destillation in Steinöl davon getrennt werden.

Viele Körper leiten die Elektrizität nicht und werden dann auch nicht zersetzt. Andere, wie Bleioxyd, Chlorblei, Jodblei, Chlorsilber u. s. w. werden durchs Schmelzen leitend und daher in einer Uförmigen Glasröhre im geschmolzenen Zustand zwischen die Pole gebracht. Am negativen Pol scheidet sich alsdann das Metall, am positiven der Sauerstoff oder das Chlor aus.

Fig. 572.



Die Zersetzung der Salze zeigt man mit Hilfe der gebogenen Glasröhre AB, Fig. 572. Giesst man z. B. eine Lösung von schwefelsaurem Natron in dieselbe und senkt man zwei mit den Polardrähten der Kette in Verbindung stehende Platinbleche hinein, so scheidet sich am positiven Pol die Säure, am negativen das Natron aus. Ist die Flüssigkeit durch Veilchenextract blau

gefärbt, so wird sie darum am positiven Pol roth, am negativen grün.

Eine sehr schöne Erscheinung bringt die Zersetzung von essigsaurem Bleioxyd zwischen den Polen hervor. Ist diese Lösung in einem kleinen Glastrog enthalten, der beim Sonnenmikroscop zur objectiven Darstellung gebraucht wird, und gehen die Polardrähte in dieses, so sieht man auf dem Schirm das Wachsen des Saturnusbaumes.

Giesst man eine übersättigte Lösung von Salmiak in eine Glasschale und in einen Glascylinder, der unten durch eine thierische Blase geschlossen ist, und bringt man in beide Gefässe Platinbleche, welche durch Drähte mit den Polen einer wenigstens sechsgliedrigen Kette verbunden sind, so bildet sich nach *Böttger* an dem positiven Pole Chlorstickstoff, wenn das zweite Gefäss in das erste gestellt wird. Die kleinsten Tröpfchen erzeugen an der Luft heftige Explosionen, wenn etwas Terpentinöl über die Salmiaklösung gegossen wird und sie mit diesen durch Schiefhalten der Platinplatte in Berührung kommen.

Bunsen hat durch ein eigenthümliches Verfahren *Chrom*, *Mangan*, *Baryum* und andere Metalle aus ihren wässerigen Chlorürlösungen auf galvanischem Wege reducirt. In einem Porzellantiegel, der stark erhitzt wird und etwas Wasser enthält, steht ein mit Salzsäure angefüllter Kohlentiegel; in diesem ist eine mit der Chlorürlösung gefüllte Thonzelle befindlich. Wenn nun der Kohlentiegel mit dem positiven Pol in Verbindung gesetzt ist und ein Platinstreifen oder amalgamirter Platindraht, der mit dem negativen Pol leitend verbunden ist, in die Lösung getaucht wird, so schlägt sich das Metall an diesem nieder. Magnesium, Lithium u. a. gewinnt man nach *Bunsen* aus reinem Chlormagnesium oder Chlorlithium, die in einem Thontiegel (einem irdenen Pfeifenkopf) geschmolzen werden, in welchem ein von unten hineingesteckter Eisendraht den negativen Pol bildet, und ein Stück Gaskohle, welches in die geschmolzene Chlorürlösung gestellt wird, mit dem positiven Pol einer *Bunsen*schen Kette von 4 bis 6 Elementen in Verbindung steht.

§. 455.

Bei binären und noch höhern Verbindungen und bei Sauerstoffsalzen treten die Zersetzungs-Erscheinungen selten so einfach wie oben hervor, sondern sind meistens von secundären Erscheinungen begleitet. So wird z. B. bei der Elektrolyse von schwefligsaurem Kali nicht die schweflige Säure und das Kali bloss getrennt, sondern es wird an der negativen Elektrode 1 Aequivalent Wasserstoff und 1 Aeq. Kali, an der positiven 1 Aeq. Schwefelsäure ausgeschieden, indem das Wasser zerlegt wird und der Sauerstoff desselben sich mit der schwefligen Säure zu Schwefelsäure verbindet. Schwefelsaures Kupferoxyd dagegen scheidet am negativen Pol 1 Aeq. Kupfer, am positiven 1 Aeq. Schwefelsäure und 1 Aeq. Sauerstoff aus. Aehnlich verhalten sich alle in Wasser gelösten Sauerstoffsalze, indem sich am negativen Pol 1 Aeq. Wasserstoff, am positiven 1 Aeq. Säure + 1 Aeq. Sauerstoff ausscheidet.

Für die directe Zerlegung zusammengesetzterer Verbindungen scheinen noch keine sicheren Beweise vorzuliegen. Ueber die Art ihrer Elektrolyse hat inzwischen *Hittorf* die ausgedehntesten Untersuchungen angestellt.

Wenn mehrere Salze zugleich im Wasser gelöst sind, so werden sie im Allgemeinen zugleich elektrolysirt. So gibt eine Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd und salpetersaurem Silberoxyd am positiven Pol Salpetersäure und Sauerstoff, am negativen Kupfer und Silber; aber die relative Menge dieser Metalle ist verschieden nach der Zusammensetzung der Lösung und der Dichte des Stromes.

§. 456.

Zu chemischen Zersetzungen ist nicht immer eine zusammengesetzte Kette nöthig; auch können manche von ihnen mittelst einer Hydroëlektrisirmaschine vorgenommen werden. Am leichtesten wird Jod-Kalium zersetzt. Stellt man eine mit Platindraht umwundene Zinkstange in Wasser, oder berührt man eine darin liegende Silbermünze mit Zink, so steigen unaufhörlich kleine Bläschen von Wasserstoffgas auf. In Salzsäure entwickelt sich an einer Zinkstange wenig Gas, sobald sie aber mit einem darin liegenden Gold- oder Platinplättchen in Berührung kommt, so beginnt an beiden Metallen eine sehr rasche Gasentwickelung. Taucht man Kupfer allein in Salzwasser, so wird es oxydirt. Löthet man es aber mit einer Zinkplatte zusammen, so oxydirt sich der Zink viel rascher als sonst, und das Kupfer wird gar nicht angegriffen. Hierauf beruht *Davy's* Erfindung, das kupferne Beschläg der Schiffe durch Zinkplatten, welche daran gelöthet werden, vor der Zerstörung zu schützen. Wenn die Oberfläche des auf das Kupfer gelötheten Zinks nur $\frac{1}{150}$ von der des Kupfers beträgt, so erfolgt weder ein Zerfressen, noch eine Abnahme des letztern; dessen ungeachtet ist diese Erfindung bei Schiffen nicht anwendbar, weil, wenn das Kupfer nicht angefressen ist, eine Menge von Schalthieren sich an die darauf niedergeschlagenen erdigen Massen hängt. Desshalb wendet man einen Anstrich von rothem Bleioxyd an, der sechs Monate lang schützt. Das sogenannte *galvanische Eisen* ist durch Ueberzug von Zink vor dem Rost geschützt. Dieser Ueberzug ist aber durch Eintauchen des Eisens in geschmolzenen Zink gebildet, und schützt nur, wenn er das Eisen überall bedeckt.

Ueberhaupt bemerkt man in unzähligen Fällen, wo verschiedenartige Körper sich berühren, das Entstehen von Elektrizität und von chemischen Wirkungen. Kupfer mit Eisen in Verbindung rostet leicht, Eisen wird durch Zink vor Rost geschützt, bleierne Wasserleitungsröhren werden an den Löthstellen durch den niedergesetzten Kalk am ersten verstopft u. s. w.

§. 457.

Davy hat ein Verfahren angegeben, um die Metalle unmittelbar aus ihren Auflösungen zu reduciren. Concentrirt man in einem Platinlöffelchen die Metallauflösung, bringt alsdann einen Tropfen Säure hinzu und berührt dieselbe Stelle mit einem Stücke Zink, so bedeckt sich die Platina mit dem reducirten Metalle. Hierher gehören die gefärbten Ringe von *Nobili*. Wenn man auf ein Silberplättchen einen Tropfen essigsaures Kupferoxyd bringt, und hierauf mit der Spitze eines Stückchens Zink in der Mitte des Tropfens das Silber berührt, so bilden sich um die Berührungsstelle drei oder vier concentrische Ringe von Kupfer, die abwechselnd hell oder dunkel sind. Die schönsten Farbenringe erhielt *Becquerel*, indem er eine Aetzkali-Lösung von 30 bis 22° Beaumé anwandte, in welcher längere Zeit hindurch feingepulverte Bleiglätte gekocht war. Taucht man ein Argentan- oder Silberblech in diese Flüssigkeit, und setzt man es mit dem positiven Pol einer Kette in Verbindung, während ein Platindraht, der in einer Glasröhre eingeschmolzen ist, so dass nur seine feine Spitze sichtbar bleibt, mit dieser Spitze dem

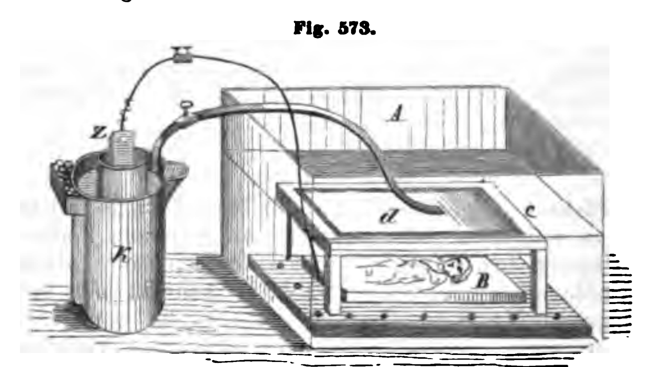
Blech gegenübersteht, und mit dem negativen Pol verbunden ist, so ent-stehen die herrlichsten Newton'schen Farbenringe. Es schlägt sich nämlich am positiven Pol Bleihyperoxyd in sehr dünnen Schichten nie-der, deren Dicke von der Mitte aus abnimmt. Am negativen Pol wird Blei ausgeschieden. Die anzuwendende Kette muss aus 4 bis 6 Grove'-schen Elementen bestehen.

Die Färbung der Metalle durch solche galvanische Ueberzüge von Bleihyper-oxyd wird technisch vielfach angewendet. Man schützt sie vor dem Abnutzen durch einen Firniss, der warm mehrmals aufgetragen wird. Dieser Firniss wird bereitet, indem $^1/_2$ Liter Leinöl, 4—6 Gramm feine Bleiglätte und 2 Gramm Zinkvitriol mässig erhitzt und nachher filtrirt werden.

§. 458.

Die schönste Anwendung der chemischen Wirkung der Kette ist aber die *Galvanoplastik*, die im Jahr 1838 von *Jacobi* und etwas später von *Spencer* erfunden wurde. Eine der im §. 436 angegebenen einfachen oder auch zusammengesetzten Ketten von constanter Wirkung wird auf folgende Art benutzt, um plastische Gegenstände, z. B. Münzen, Gyps-abdrücke, Holzschnitte und dergl. in Kupfer vollkommen nachzubilden. Man giesst über die Münze eine Mischung von Wachs und Gyps oder von Wachs und Stearin, und löst den vertieften Abguss vorsichtig ab. Hierauf bestreicht man den Abguss mittelst eines feinen Pinsels mit Versilberungspulver oder geschlemmten Graphit oder mit Bronce-Pulver, und steckt in das Wachs einen Draht, der mit dem Zinkende Z einer Daniell'schen Kette (Fig. 573) in Verbindung steht. Der Raum von dem Draht bis zur Oberfläche der versilberten Form muss ebenfalls mit Ver-silberungs-Pulver bestrichen werden. Die Form B wird nun in den Trog A gelegt und ein oben durchbro-chenes Holzgestell darüber gestellt, oder es wird ein in Wachs getauchter Papier-streifen darum ge-legt, der etwas dar-überhervorragt. Dar-auf wird der Trog A mit einer nicht ganz gesättigten Ku-pfer-Vitriol-Lösung gefüllt, und über die Bildfläche der Form B ein starkes Kupferblech d gelegt, welches eben-falls in die Flüssigkeit eingetaucht sein muss. Dieses Kupferblech setzt man durch einen Draht mit dem andern Pol K in Verbindung. Bald schlägt sich metallisches Kupfer auf der Bildfläche nieder und bildet kleine Krystalle, die so dicht sind, dass sich eine fest zusammenhängende Kupfermasse daraus bildet. Wenn diese die gehörige Dicke erlangt hat, welches gewöhnlich nach 18 bis 24 Stunden der Fall ist, so kann man sie von dem Wachs ablösen, und hat alsdann eine vollkommene Abbil-dung der Münze. Damit sich keine Unreinlichkeiten von dem Kupfer d

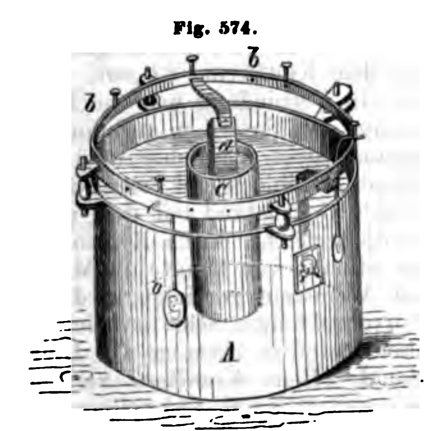
Fig. 573.



auf die Münze niederschlagen, umgibt man ersteres mit Leinwand. Statt des Wachsabdrucks kann man nach *Böttger* auch einen Abdruck von leichtflüssigem Metall, welches aus 8 Wismuth, 5 Blei und 3 Zinn besteht, oder auch Gutta percha nehmen. In der Kette *KZ*, die schon früher im §. 436 beschrieben wurde, muss, um einen langsamen Niederschlag zu bewirken, die Säure des Thon-Cylinders sehr verdünnt sein, und etwa 40 Theile Wasser auf 1 Theil Schwefelsäure enthalten. Da das Gelingen der Abdrücke auch von der Gleichförmigkeit abhängt, so kann man ein Galvanometer einschalten und dieses von Zeit zu Zeit beobachten, und wenn die Wirkung abnimmt, die Säure verstärken. Die Kupferzelle *K* enthält eine gesättigte Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd. Das Kupfer derselben wird ebenfalls mit einer dicken Kupferschichte überzogen. Desshalb muss man öfter neue Kupfervitriolkrystalle in das an der Seite von *K* befindliche Kästchen legen. Die Oberfläche des kupfernen Troges *K* muss so gewählt werden, dass sie der Oberfläche der Form *B* ohngefähr gleich ist.

Einfacher ist das ursprüngliche Verfahren bei der Galvanoplastik, welches man ebenfalls häufig anwendet, obgleich es langsamer ist. In ein Glas- oder Porzellangefäss *A*, Fig. 574, wird ein Thoncylinder *C* gestellt. Dieser ist mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, und enthält ausserdem einen amalgamirten Zinkstreifen *d*. Letzterer ist durch einen Kupferstreifen mit dem auf dem Rand des Gefässes *A* befestigten kupfernen Ring *b b* verbunden. Dieser Ring hat Löcher, in welchen mittelst Drähten die mit geschlemmtem Graphit oder Silberpulver überzogene Form *o* aufgehängt wird, nachdem *A* mit Kupfervitriollösung gefüllt ist. Diese Form vertritt alsdann die Stelle des Kupfer-Elements, von der Daniell'schen Kette in dem Apparat, Fig. 573. Während dort der Strom vom Kupfer *K* nach *d* und durch die Flüssigkeit zu der Form *B*, und von da zum Zinkpol *Z* ging, geht er hier in Fig. 574 vom Kupferring *b b* zum Zink *d* und von da zur Form *o*; von dieser aber wieder durch den Draht in den Kupferring u. s. w. Die Kupfervitriollösung muss von Zeit zu Zeit erneuert werden; auch sind die Formen in jeder Stunde einmal herauszunehmen und zu reinigen. Will man unmittelbar von einer Münze einen vertieften Abdruck machen, so hängt man sie wie *o* in dem Gefäss *A* auf; nachdem man sie vorher auf der von dem Zink abgewendeten Seite mit Wachs überzogen hat. Auch der Zuleitungsdraht wird mit Wachs oder Gutta percha überzogen, um keinen unnöthigen Niederschlag zu veranlassen. Ist der Cylinder *A* selbst von Metall, so muss er innen mit einer isolirenden Substanz überzogen, und der Ring *b b* selbst wieder von ihm isolirt sein.

Fig. 574.



Mit angeblich grossem Vortheil wenden Manche in neuerer Zeit

statt der galvanischen Kette auch die später zu beschreibende magnetelektrische Maschine an.

§. 459.

Auf ähnliche Art, wie oben, wird auch der galvanische Niederschlag anderer Metalle zum Vergolden, Versilbern, Verzinken u. s. w. benutzt. Man nimmt dazu eine constante Kette aus mehreren Elementen. Statt der Kupfer-Vitriollösung bringt man in das Gefäss *A*, Fig. 573, beim *Vergolden* eine Lösung von Goldchlorid in Wasser mit unreinem Cyankalium nach *Liebig's* Darstellung (1 Ducaten auf 2 Loth Cyankalium), oder man giesst die Goldlösung in ein Gefäss wie *A*, Fig. 574, nachdem der Zinktrog und der Kupfervitriol daraus entfernt sind. Die zu vergoldenden Gegenstände werden zuerst erhitzt, um alles Fett von ihrer Oberfläche zu entfernen. Die durch das Erhitzen auf der Oberfläche entstandenen Metalloxyde werden dadurch entfernt, dass man nachher den noch warmen Gegenstand in eine Mischung von 1 Schwefelsäure auf 12 Wasser wirft, einige Zeit darin lässt und öfter mit einer Messingbürste reibt. Nachher wird er in Wasser abgewaschen und in warmem Sägmehl getrocknet. Ist die Oberfläche noch nicht ganz rein von Oxyd, so bringt man ihn in gewöhnliche Salpetersäure, darauf schnell in ein Bad von 1000 Salpetersäure, 10 Meersalz und 10 Russ. Hierauf wird er in Wasser gewaschen und nochmals in Sägmehl getrocknet. So vorbereitet, hängt man ihn an dem Kupferring *bb* auf, setzt diesen mit dem negativen Pol einer Kette in Verbindung und taucht in die Mitte des Gefässes ein mit dem positiven Pol derselben verbundenes Platinblech, besser noch damit diese Lösung nicht schwächer wird, befestigt man an dem positiven Pol ein dünnes Goldblech und taucht dieses in die Lösung, während der zu vergoldende Gegenstand mit dem negativen Pol verbunden ist. Wenn die Metalloberfläche durch Reiben mit Sand oder feinen Kratzbürsten sehr rein ist, und von Minute zu Minute herausgenommen und durch Reiben mit Weinstein gereinigt wird, so hält die Vergoldung so gut als die Feuervergoldung. Sehr nützlich ist es auch, der Goldlösung etwas Schwefelkohlenstoff zuzusetzen. Die Dicke der Goldschichte ist der Zeit proportional. Beim *Versilbern* verfährt man auf ganz ähnliche Weise, und wendet 1 Theil Chlorsilber auf 6 Theile Cyankalium in 100 Wasser an. Eiserne Geräthschaften überzieht man vor dem Vergolden etc. erst mit *Kupfer* und nimmt dazu eine Lösung von 1 Kupfervitriol in 12 Wasser mit 2 Cyankalium in 16 Wasser. Platinsalmiak in Wasser dient nach *Fehling* am besten zum *Platiniren.* Auch mit Nickel, Zink, Zinn u. s. w. lassen sich auf ähnliche Art die Metalle überziehen. Um Eisen mit einem Messingüberzug zu versehen, taucht man das gereinigte und mit dem negativen Pol einer Kette verbundene Stück in eine Cyankaliumlösung, und stellt ihm eine Platte gegenüber, die aus einer Zink- und Kupferplatte zusammengesetzt ist. *Frankenheim* hat gefunden, dass, wenn man den obigen Lösungen von Goldchlorid u. s. w. etwas Kochsalz zusetzt und in die bis 60° erhitzte Flüssigkeit ein Metall bringt, dieses auch durch die blosse Berührung mit einem Stückchen Zink vergoldet wird. Dieses Verfahren gibt die dauerhafteste Vergoldung; besonders wenn man den zu vergoldenden [Gegen]stand alle 10 bis 20 Minuten herausnimmt und reinigt. Statt des

Kochsalzes kann man auch Aetzkali und Natron zusetzen. Statt des Zinks wird auch bloss Messingdraht angewendet, den man lose um die zu vergoldenden Gegenstände wickelt.

Die Anwendung der Galvanoplastik auf die Nachbildung von Gegenständen der Kunst ist bereits sehr verbreitet. Es werden Büsten, Statuen u. dgl. durch galvanischen Niederschlag des Kupfers theilweise nachgebildet und nachher zusammengesetzt. Holz- und Gypssachen, sowie Insekten verkupfert man, nachdem man sie zuerst in salpetersaures Silber getaucht und dann in einen Raum gebracht hat, in welchem sich unentzündliches Phosphorwasserstoffgas befindet. Dadurch wird ihre Oberfläche leitend. Dieses Gas erhält man, indem man einige Stückchen Phosphor in einer Retorte mit Weingeist übergiesst, und nachdem einige Stückchen Aetzkali zugesetzt sind, erwärmt. Durch nachheriges Vergolden erhalten sie oft ein herrliches Aussehen. In neuerer Zeit werden auch seidene und andere Gewebe mechanisch vergoldet. Ferner hat *Liebig* eine Methode erfunden, die Spiegel dauernd und auf's Schönste galvanisch zu versilbern. Die Versilberung wird durch einen galvanischen Niederschlag von Kupfer geschützt. Von der ausserordentlichen Genauigkeit, mit welcher das Kupfer die Form wiedergibt, erhielt man durch den Niederschlag desselben auf ein, hinten mit Lack überzogenes Daguereotype einen Beweis, indem der galvanoplastische Abguss dieses ganz getreu wiedergibt.

Wenn man eine Lösung von 1 Salmiak in 10 Wasser der Wirkung einer kräftigen *Bunsen*'schen Kette aussetzt, deren negativer Pol ein Platinblech und deren positiver ein Eisenblech ist, so bildet sich eine doppelte Verbindung von Chloreisen und Salmiak. Ist das Bad nach 2 bis 3 Tagen damit gesättigt, und man bringt an die Stelle der Platinplatte eine mit Eisen zu überziehende Metallplatte, so erfolgt der mechanische Niederschlag des Eisens. Gravirte Kupferplatten werden dadurch dauerhafter. Hierauf beruht die Aciérage.

Eine wichtige technische Anwenduug des Galvanismus ist das Ausbringen der Metalle auf elektrischem Wege. So wird z. B. aus dem kohlensauren Kupfererz das metallische Kupfer gewonnen, indem man das Erz zuerst durch Behandlung mit Schwefelsäure in Kupfervitriol verwandelt und eine Lösung desselben in ein Gefäss bringt, das durch eine poröse Wand mit einem andern in Verbindung steht, welche mit Eisenvitriollösung gefüllt ist. In letzterem steht eine Eisenplatte, welche mit einer Bleiplatte in der andern Zelle leitend verbunden ist. Der Niederschlag des Kupfers bildet sich in Plattenform auf der letztern.

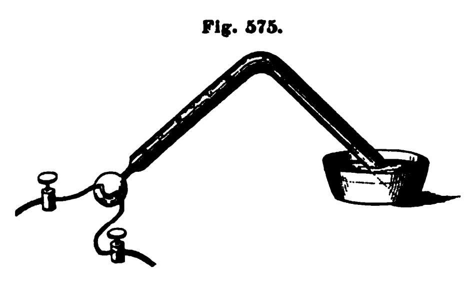
§. 460.

Der *Volta*'sche Strom kann in manchen Fällen auch zur chemischen Verbindung zweier Körper statt zu ihrer Trennung angewandt werden. Lässt man den beim Oeffnen der Kette entstehenden Funken öfter und schnell hinter einander z. B. mit Hilfe des später zu beschreibenden Inductions-Apparates durch Luft und Wasserdampf schlagen, so bildet sich salpetrige Säure, und in Sauerstoffgas und Wasserdampf nach *Schönbein*, Ozon und Wasserstoffhyperoxyd. Wenn man nach *Grove* das in Fig. 27, Seite 33, abgebildete Eudiometer dahin abändert, dass man in die Glasröhre einen $\frac{1}{80}$ Zoll dicken Platindraht, welcher in der Mitte bügelförmig herabgebogen ist, einschmilzt, und einen schwachen galvanischen Strom von nur zwei *Grove*'schen Elementen hindurchgehen lässt, so wird er glühend und vereinigt alle Gase, welche mit Sauerstoff oder Wasserstoff verbunden werden müssen, und desshalb in der beabsichtigten Mischung in die Röhre gebracht sind. Dieses Eudiometer besitzt ausserdem den Vorzug, die Gase entweder langsam zu vereinigen oder zu verpuffen, je nachdem man durch Einschaltung eines Rheostats den Strom mehr oder weniger schwächt. Am besten ist es, den Draht anfänglich mässig zu erhitzen, wobei die Gase sich zusammenziehen, und

dann die Hitze allmälig bis zum Glühen zu steigern. Dadurch werden gefährliche Explosionen vermieden und die dicken Röhren überflüssig gemacht.

Dieselbe Röhre kann man nach *Grove* auch zur Zersetzung des Wassers in seine Bestandtheile anwenden, wenn man den Draht durch einen galvanischen Strom heftig weissglühend macht und dafür sorgt, dass er mit Wasserdämpfen in Berührung ist, während die Wiedervereinigung der gebildeten Gase durch beständige Entfernung vom Drahte verhindert wird. Diess geschieht am besten auf folgende Art: Man zieht, wie in Fig. 575, eine Glasröhre an dem einen Ende in eine engere Röhre aus, und bläst eine kleine Kugel daran. In diese schmilzt man einen feinen Platindraht so ein, dass er mehrere Biegungen darin macht. Nachdem die Glasröhre gebogen und mit luftfreiem Wasser gefüllt ist, wird ihr offenes Ende in eine Schale mit Wasser gestellt, und nun ein galvanischer Strom von 2 bis 3 Grove'schen Elementen durch den Platindraht geleitet. Das Wasser in der kleinen Kugel kommt bald in's Sieden, und sobald nur noch Wasserdämpfe in derselben sind, steigen kleine Bläschen Knallgas auf, die sich oben in der Röhre sammeln. Bei dieser Gelegenheit kam *Grove* auf die Entdeckung, dass das Wasser auch bloss durch die Hitze zerlegt wird, wenn man z. B. Wasserdämpfe durch ein fast bis zum Schmelzen erhitztes Platinröhrchen leitet.

Fig. 575.



§. 461.

Die wichtigsten Entdeckungen über die chemische Zersetzung verdankt man den Untersuchungen von *Faraday*, und es ist darum nützlich, die von ihm aufgestellte neue Terminologie kennen zu lernen.

Indem kein Körper für sich allein von einem Pol der Kette angezogen oder abgestossen, sondern nur dann von dem elektrischen Strome ausgeschieden wird, wenn der zersetzte Körper keine neue Verbindung an den Polen eingeht, so hat er die Pole gleichsam als die Ein- und Austritts-Wege der elektrischen Wirkung betrachtet, und daher den positiven Pol die positive *Elektrode*, den andern die negative *Elektrode* genannt. Erstere heisst auch die *Anode*, letztere die *Kathode*. Die Körper, welche wirklich zersetzt werden, nennt man die *Elektrolyten;* Produkte der Zerlegung *Jonen*, und zwar *Kationen*, die an der Kathode erscheinen, *Anionen*, die an der Anode zum Vorschein kommen.

§. 462.

Die wichtigsten der von *Faraday* aufgestellten elektro-chemischen Gesetze sind nun folgende:

1) Nicht alle zusammengesetzten Körper sind *direkt* zerlegbar oder *Elektrolyten*, sondern nur diejenigen, bei welchen 1 Atomgewicht des einen Elements auf 1 Atomgewicht des andern kommt. Wenn unter Atom-Gewichten die im §. 38 angenommenen Aequivalente verstanden werden,

wornach Wasser aus 1 Atom Wasserstoff auf 1 Atom Sauerstoff und nicht, wie manche annehmen, aus 2 Atomen Wasserstoff auf 1 Atom Sauerstoff besteht. So ist auch Salzsäure nach §. 64 zerlegbar und es scheidet sich Chlor am positiven Pol und Wasserstoff am negativen aus. Da Wasser zersetzt wird, so müsste es hiernach nicht aus 1 Aeq. Sauerstoff auf 2 Aeq. Wasserstoff, sondern aus 1 Aeq. Sauerstoff auf 1 Aeq. Wasserstoff bestehen. Bei der Salpetersäure, welche aus 1 Aeq. Stickstoff auf 5 Aeq. Sauerstoff besteht, erfolgt eine *indirekte* Zerlegung. Das Wasser der Salpetersäure wird nämlich zerlegt, und sein an der negativen Elektrode ausgeschiedenes Wasserstoffgas zersetzt die Salpetersäure, indem dasselbe mit einem Theil des Sauerstoffs der Salpetersäure wieder Wasser bildet, und dadurch das Entstehen von salpetriger Säure (1 Stickstoff und 3 Sauerstoff) veranlasst. Viele andere secundäre Zerlegungen werden vorzüglich bei Anwendung von wässerigen Lösungen hervorgebracht. Obiges Gesetz hat keine vollkommene Allgemeingültigkeit, indem es Körper gibt, die bei ihrer Zersetzung ihm nicht entsprechen. So wird z. B. bei der Elektrolysirung von Kupferchlorid auf 1 Aeq. Chlor 1 Aeq. Kupfer ausgeschieden; bei Kupferchlorür aber auf 1 Aeq. Chlor, 2 Aeq. Kupfer. Ganz ähnlich wie die obigen einfachen Verbindungen verhalten sich die aus 1 Aeq. Sauerstoffsäure und 1 Aeq. Basis bestehenden Sauerstoffsalze. Z. B. borsaures Blei gibt im geschmolzenen Zustand an der Kathode 1 Aeq. Blei, an der Anode 1 Aeq. Borsäure und 1 Aeq. Sauerstoff.

2) Ein Element, d. h. ein einfaches *Jon*, welches nicht in Verbindung mit einem andern ist, wird von keiner der beiden Elektroden angezogen, sondern der wahre Charakter der Zersetzung besteht darin, dass, wo sie vorgehen soll, sich eine Reihe von Theilchen des Elektrolyten zwischen den beiden Elektroden befinden, und von einem bis zum andern erstrecken muss. Bei dem im §. 451, Anmerkung, beschriebenen Versuche *Davy's* kann demnach die Trennung der Elemente nicht eher eintreten, als bis ein Theil des schwefelsauren Natrons in die andern Gefässe übergegangen ist Die *einmal* ausgeschiedenen Elemente gehen aber darum nicht an die Elektroden, wenn z. B. die Trennung früher bewerkstelligt wird. Darum ist auch der Contact des metallischen Leiters mit der zu zerlegenden Flüssigkeit nicht nöthig. *Faraday* bewiess diess durch folgenden Versuch: Er nahm ein Glasgefäss von 4 Zoll Durchmesser und theilte es durch ein Glimmerblättchen von 1,5 Zoll Breite oben in zwei Fächer, *A* und *B*. Eine 3 Zoll breite Platinplatte wurde in das Fach *A* auf den Boden gestellt, und hierauf eine concentrirte Lösung von schwefelsaurer Magnesia in das Glas gegossen, bis sie etwas über den untern Rand des Glimmerblatts stieg. In das Fach *B* wurde nun vorsichtig destillirtes Wasser, 1,5 Zoll hoch, gegossen, so dass es sich auf die Magnesia lagerte, ohne sich damit zu mischen. Als nun eine horizontale Platinplatte in das Wasser gebracht, und beide Platinplatten mit den Polen einer Kette von 40 Paaren, 4 Zoll grosser Platten, in Verbindung gesetzt wurden, so dass der negative Pol auf Seiten des Wassers war, erschien an diesem Magnesia, und zwar da, wo die Bittersalzlösung das Wasser berührte, nicht an der Platinplatte selbst.

3) Damit Elektrolysirung stattfinde, muss der Elektrolyt die Ver-

theilung leicht zulassen, folglich ein Leiter sein. Daher wird Eis nicht zersetzt, weil es ein schlechter Leiter ist, wohl aber das Wasser. Andere Körper, wie Chlorblei, Chlorsilber u. s. w. werden nur im geschmolzenen Zustande, wo sie auch Leiter sind, elektrolysirt. Ob sie nun Leiter im flüssigen Zustande werden, weil sie in ihm elektrolysirbar sind, oder ob sie im flüssigen Zustande electrolysirbar sind, weil sie Leiter werden, ist nicht ausgemacht. Harz und manche andere Körper sind in jedem Zustande Nichtleiter; aber auch keine Elektrolyten. Aus diesem Grunde wirkt wahrscheinlieh auch

4) keine Flüssigkeit in den Zellen der galvanischen Kette Elektrizität-erregend, welche kein Elektrolyt ist. So kann z. B. eine Chlorlösung nicht als erregende Flüssigkeit gebraucht werden. Auch geht in jeder Zelle eine Zersetzung der in ihr befindlichen Flüssigkeit vor, und wenn man in einer zusammengesetzten Kette ein Paar gegenüberstehender Zink- und Kupferplatten durch zwei Platinplatten ersetzt, so bilden sie eben solche Zellen der Zersetzung, vermindern aber die Kraft der Batterie sehr, weil die Verwandtschaft des Sauerstoffs zum Zink in dieser Zelle wegfällt, und also die Trennung desselben vom Wasserstoff nicht unterstützt. Da der Strom in der Batterie von Glied zu Glied übergeht, so muss seine Hemmung an einer Stelle nachtheilig auf alle übrigen wirken, und wenn daher durch ungleiche Mischung der Flüssigkeit die Elektrolysirung oder das Leitungsvermögen in einer Zelle schwächer ist, so muss in allen übrigen Zellen der Strom auf gleiche Art geschwächt werden. Daher ist der §. 439.[5], beschriebene *Faraday*sche Apparat so vortheilhaft.

5) Die Quantität der zersetzten Theile eines Elektrolyten ist der Menge der durch denselben geleiteten Elektrizität proportional. Dieses wichtige Gesetz, welches auch das Gesetz der *feststehenden elektrolytischen Action* genannt wird, entdeckte *Faraday* durch folgenden Versuch: Er nahm eine Platinplatte und eine amalgamirte Zinkplatte und tauchte sie in verdünnte Schwefelsäure von 1,068 Dichte. Ehe die Platten sich berührten, erschien gar kein Gas; nachher stieg es aber an der Platina auf, während der Zink ruhig verzehrt wurde. Das Wasserstoffgas sammelte er sorgfältig und fand, als er den Versuch eine halbe Stunde lang fortgesetzt hatte, dass sich das Gewicht des entwickelten Wasserstoffgases zu dem Gewichtsverlust der Zinkplatte wie 1 zu 32,3 verhielt. Dieses Verhältniss ist dem der Atomgewichte von Wasserstoff und Zink vollkommen gleich. Als er eine Anzahl solcher Zink- und Platinplatten mit einander zu einer *Volta*'schen Kette verband, fand er, dass die Menge des entwickelten Wasserstoffgases und des oxydirten Zinks in jedem Plattenpaare gleich gross war. Um also 1 Gran Wasserstoffgas zu erhalten, müssen in der einfachen Kette 32,3 Gran Zink oxydirt werden, und während in einer zusammengesetzten Kette von 10 Plattenpaaren zehnmal so viel, oder 323 Gran Zink aufgelöst werden, wird zwischen den Elektroden ebenfalls nur 1 Gran Wasserstoff frei. Weil nur 1 Gran Wasserstoff mit 8 Gran Sauerstoff verbunden ist, so müssen also 9 Gran Wasser zerlegt werden. Daraus zieht *Faraday* den Schluss, dass durch die Oxydation von 32,3 Gran Zink in jedem Plattenpaare so viel Elektrizität in Strom versetzt wird, als nöthig ist, um 9 Gran Wasser zu zerlegen. Diese Entdeckung gibt zugleich die Mittel an die Hand, die Zweckmässigkeit der Construction einer zusammengesetzten Kette zu

prüfen. Denn werden in den Zellen auf 9 Gran Wasser mehr als 32,3 Gran Zink zersetzt, so rührt dieses von einer nachtheiligen Wirkung her, und je besser die Säule ist, desto mehr wird sich der Zinkverlust diesem Verhältniss nähern.

6) Leitet man vier gleichstarke, elektrische Ströme durch verschiedene Röhren, in welchen sich z. B. Wasser, Chlorsilber in geschmolzenem Zustande, Chlorblei in demselben Zustande und Chlorzinn in concentrirter Auflösung befinden, so erhält man als Produkt der Zersetzung in einerlei Zeit dem Gewicht nach 1 Wasserstoff, 35,4 Chlor, 108 Silber, 103,7 Blei, 58,92 Zinn. Diese Zahlen sind in der obigen Voraussetzung aber auch die Mischungs- oder Atomgewichte dieser Elemente. Von allen zusammengesetzten Körpern wird also durch dieselbe Quantität Elektrizität auch dieselbe Menge von Atomen zersetzt. *Faraday* hat bewiesen, dass dieser Satz nicht nur für die binären, sondern auch für die quaternären Verbindungen gilt. Daraus geht hervor, dass eine gewisse Menge Elektrizität die Bestandtheile zusammengesetzter Körper in demselben Zahlenverhältnisse ausscheidet, in welchem ihre Atomgewichte zu einander stehen. Doch ist auch dieses Gesetz nicht ohne solche Ausnahmen, die seine allgemeine Giltigkeit in Zweifel setzen. So hat z. B. der jüngere *Becquerel* gezeigt, dass, während Kupferchlorür, welches aus 2 Aeq. Kupfer und 1 Aeq. Chlor besteht, zersetzt wird, sich im Voltameter nur 1 Aeq. Sauerstoff und 1 Aeq. Wasserstoff aus dem Wasser entwickeln.

Bei secundären Verbindungen sind die Wirkungen des Stromes zusammengesetzterer Art; so werden z. B. neutrale Metallsalzlösungen nach *Daniell* in Säure und Basis zerlegt, wenn das Metall zu denen gehört; die Wasserstoff entwickeln und in allen andern Fällen in Säure, Metall und Sauerstoff.

Nach den obigen Gesetzen ist die Menge des in einer Kette verbrauchten Zinkes ein Aequivalent für die Stromstärke während einer gewissen Zeit. In dem §. 448 ist aber gezeigt worden, dass die Wärmemenge, welche durch eine Kette entwickelt wird, wenn S die Stromstärke und R der Widerstand ist, ausgedrückt werden kann durch $W = S^2 R$, Da nun nach §. 442 auch $S = \frac{E}{R}$, so ist, wenn man diese Gleichung mit der vorigen multiplicirt, $W = S \,.\, E$. Es ist also auch *die in einer bestimmten Zeit entwickelte ganze Wärmemenge der Kette, bei gleich bleibender elektromotorischer Kraft, der Stromstärke direkt proportional,* folglich auch *der Menge des oxydirten Zinkes,* indem letztere ein Aequivalent für die Stromstärke ist. Die Menge des in der Kette verbrannten Zinkes steht also in demselben Verhältniss zur erzeugten Wärme, als die des Holzes und der Steinkohlen bei der gewöhnlichen Verbrennung.

Indem *Favre* die bei Auflösung einer Zinkmasse in verdünnter Schwefelsäure erzeugte Wärmemenge mit der durch den Strom erzeugten verglich, fand er, *dass die im Stromkreise erzeugte Wärmemenge ebenso gross ist, als wenn die während der Dauer des Stroms gelöste Zinkmenge direkt in der Säure gelöst worden wäre.*

Das zweite elektrolytische Gesetz von *Faraday*, Seite 605, erleidet in Beziehung auf die Gase eine Ausnahme, indem nach *Grove's* Versuchen auch ein Gas allein und ohne aus einer Verbindung erst ausgeschieden werden. zu müssen, an

dem einen oder dem andern Pol vorzugsweise in eine Schichte verdichtet zu werden scheint, und zwar der Sauerstoff an der Anode, der Wasserstoff an der Kathode.

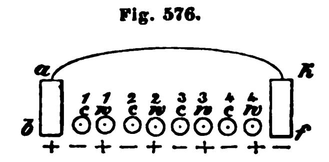
Mit der chemischen Zersetzung steht, wie oben unter 4 bemerkt wurde, die Veränderung der Flüssigkeit und der Platten, nachdem die Säule gebraucht ist, in Verbindung. Bei einer Säule von Zink- und Kupferplatten und bei Anwendung einer Auflösung von salpetersaurem Natron scheidet sich am negativen Kupfer der Wasserstoff und das Natron des Salzes aus; der positive Zink wird durch den Sauerstoff des Wassers oxydirt, und das gebildete Zinkoxyd verbindet sich mit der Salpetersäure. Erst wenn alles Alkali am Kupfer, und alle Säure am Zink ausgeschieden ist, hört die Wirksamkeit der Säule auf.

§. 463.

Um die Erscheinungen der chemischen Verbindung und Zersetzung, so wie die Licht- und Wärme-Entwicklung bei derselben zu erklären, hat man verschiedene Hypothesen versucht. Nach *Davy* zeigen unter den Stoffen, welche sich chemisch verbinden, alle diejenigen, welche die grösste Verwandtschaft zu einander haben, bei ihrer Berührung auch die am stärksten entgegengesetzt-elektrischen Zustände. Die Säuren und die Stoffe, welche sich in ihrer Verbindung als solche verhalten, nehmen die negative Elektrizität an und die alkalischen Substanzen die positive. Da die Wärme die elektrische Spannung vermehrt, so kann dadurch in den entgegengesetzt-elektrischen Massentheilchen zweier Körper eine so starke elektrische Anziehung entstehen, dass sie ihren Aggregatzustand ändern und sich mit einander chemisch verbinden. An jeder Verbindungsstelle entsteht ein Funke, wie beim Entladen der Leidner Flasche, und dadurch die Flamme nnd die Hitze. *Berzelius* hat diese Theorie zur Grundlage der Chemie gemacht und die Körper in positiv- und negativ-elektrische abgetheilt. Um zu sehen, welcher von zwei Körpern, die sich mit einander verbinden, der negativ-elektrische ist, sucht man, welcher die Rolle der Säure übernimmt. Unterwirft man nachher die Verbindung der Einwirkung einer elektrischen Kette, und begibt sich derselbe Körper an den positiven Pol, so ist er das negativ-elektrische Element. Die chemischen Erscheinungen der Anziehung sollen nach ihm darin ihren Grund haben, dass die Atome an ihren entgegengesetzten Enden verschiedene Elektrizitäten in ungleicher Intensität besitzen, und dass ein Körper positiv- oder negativ-elektrisch ist, je nachdem der eine oder der andere Pol das Uebergewicht hat. *Becquerel* wendet dagegen ein, dass man keine Polarität der Atome annehmen könne, indem alle Materie, die keiner fremden Gewalt unterliegt, Kugelgestalt annehme und also auch wahrscheinlich die Atome sphärisch seien, Er nimmt vielmehr an, dass alle elektrischen Wirkungen durch Störungen in dem natürlichen Gleichgewichte der Massentheilchen erzeugt würden, indem dadurch eine geringe Menge beider Elektrizitäten frei werde, und durch ihre Wiedervereinigung Wärme entstehe. Wenn eine Säure sich mit dem Alkali verbinde, so bemächtige sich die erste der positiven, das letztere der negativen Elektrizität, Beide bilden bei ihrer Vereinigung neutrales Fluidum und bringen so viel kleine Ströme hervor, als es Massentheilchen gebe. Hieraus erklärt er die Entstehung von Wärme bei chemischen Verbindungen. Bei Zersetzungen, welche stets durch überwiegende Affinität bewirkt werden, nimmt die Säure die negative Elektrizität an ıd geht daher zum positiven Pole. *Faraday* und viele Andere nehmen , dass die elektro-chemische Zersetzung eine Folge sei, der durch die

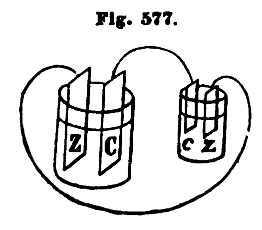
chemische Verwandtschaft zwischen der Flüssigkeit und den Metallen bewirkten Polarität der Atome. Ehe man ein Metall, z. B. Zink, in eine Flüssigkeit, etwa Salzsäure (Chlorwasserstoff) taucht, besitzen in beiden alle Theilchen die positiv- und negativ-elektrischen Kräfte, welche aber im nicht-polaren Zustande sich neutralisiren. Durch Eintauchen des Zinks wird das salzsaure Atom zunächst bei dem Zink polarisch, und zwar sein Chlor-Element negativ und sein Wasserstofftheilchen positiv. Die Zink-Atome werden zu gleicher Zeit ebenfalls polarisch, und zwar jedes an der dem nächsten Theilchen der Salzsäure zugekehrten Seite positiv, an der abgewendeten dagegen negativ. Wenn nun die Vertheilung der beiden entgegengesetzten Elektrizitäten in dem Zink- und Chlor-Atom mächtig genug ist, so wird der positive Theil eines Zink-Atoms von dem Ganzen losgerissen, und verbindet sich mit dem negativen Chlor-Atom zu Chlorzink, welches sich in der flüssigen Salzsäure auflöst. Der positive Wasserstoff aber entweicht als Gas an der Oberfläche des Zinks. In der geschlossenen einfachen Kette, Fig. 576, geht jedenfalls die positive Elektrizität vom Kupfer *k* durch den Schliessungsdraht zum Zink *a* und gelangt nach *b*. Es wird darum dieses positive Ende vertheilend oder polarisirend bis zum Kupferende *f* wirken. Ebenso wird das dem positiven Zinkende *b* gegenüberstehende Kupferende *f* negativ und verstärkt so die Polarität der zwischen beiden befindlichen Salzsäure, wie die entgegengesetzten Pole eines Magnets die magnetische Vertheilung in einem weichen Eisen verstärken. Das Chlor-Atom $\overset{1}{c}$ der Salzsäure wird dadurch negativ-, das mit ihm verbundene Wasserstoff-Atom $\overset{1}{w}$ positiv-elektrisch, und sobald die positive Elektrizität der Zinkelektrode *b* stärker wirkt, als die des Wasserstoffelements $\overset{1}{w}$, so reisst sich das Chlor $\overset{1}{c}$ von dem $\overset{1}{w}$ los und verbindet sich mit dem nächsten Zinkatom zu neutralem Zinkoxyd. Da nun die Polarität aller Chlor- und Wasserstofftheilchen gleich gross sein muss, indem die eines jeden durch die Polarität des andern veranlasst wird, so muss augenblicklich, wenn sich $\overset{1}{c}$ mit dem Zink verbunden hat, $\overset{1}{w}$ sich mit $\overset{2}{c}$ zu neutralem $\overset{1}{w}\overset{2}{c}$ verbinden; eben so $\overset{2}{w}$ mit $\overset{3}{c}$ und so fort durch die ganze Reihe der Theilchen bis zum Kupfer, wo das letzte Wasserstofftheilchen $\overset{4}{w}$ frei wird, weil es zu dem Kupfer keine Affinität hat, und durch die gleiche Menge negativer Elektrizität unelektrisch geworden ist. Da die Ursache der ersten Vertheilung fortdauert, so bewirkt sie nun eben so eine neue Polarisirung des Salzsäure-Theilchens $\overset{1}{w}\overset{2}{c}$ und aller folgenden. $\overset{2}{c}$ wird gleichsam eine halbkreisförmige Drehung machen müssen, um mit dem Zink in Berührung zu kommen, und nachdem es sich mit diesem verbunden, wird bei *f* ein neues Wasserstofftheilchen ausgeschieden. Die Wärme-Erscheinungen und andere Wirkungen, welche der Verbindungsdraht als

Fig. 576.



hervorruft, scheinen zu beweisen, dass in seinem Innern ähnliche Veränderungen in der Polarität der Atome vor sich gehen. Die stärkere Wirkung des Zinks auf die Polarisirung liegt nach *Faraday* darin, dass Zink sich in der Salzsäure auflöst und Kupfer nicht. Ist der Zink amalgamirt, so wird die Polarisirung befördert, weil dann seine Theilchen aus Zink und Quecksilber bestehen, und sich leichter verschieben lassen. Wird jener Verbindungsdraht, der von Platina sein mag, zerschnitten, und, wie in Fig. 577, irgend ein Elektrolyt in den Zwischenraum *cz* gebracht, so wird die Zersetzung desselben auf dieselbe Art, wie oben, durch die Polarisation seiner Atome erklärt, nur ist an der Zinkseite *z* das letzte Platintheilchen negativ, an der Kupferseite *c* dagegen positiv, und es muss sich also bei *z* der positive und bei *c* der negative Körper ausscheiden. Die Verstärkung der chemischen Wirksamkeit einer Kette, die aus mehreren Gliedern besteht, schreibt *Faraday* der begünstigenden inducirenden Wirkung zu, welche entstehen muss, wenn ein Paar auf das andere wirkt, wie wenn mehrere Magnete eine geschlossene Reihe bilden.

Fig. 577.



Mit dieser, der Hauptsache nach von *Grotthuss* herrührenden Erklärung stimmt die Erfahrung überein, dass die zersetzende Kraft des Stromes in allen seiner Richtung entsprechenden Theilen des Elektrolyten dieselbe ist, und folglich an allen Stellen gleichmässige Zersetzungen und Wiedervereinigungen der Jonen stattfinden. Schwieriger ist die Erklärung der Elektrolyse zusammengesetzterer Körper, indem dabei die elektrische Vertheilung und Trennung nicht allein für einzelne Stoffe von der Stromdichte abhängt, so dass bald nur eine Trennung der Säure von der Base, bald auch eine Zerlegung beider oder nur eines von ihnen in ihre entferntern Bestandtheile stattfindet, sondern auch mechanische Ueberführungen von Pol zu Pol auftreten, wobei der Widerstand, den diese Fortführung in der angränzenden Flüssigkeit findet, verschieden ist. Dabei scheint es, dass in den Lösungen sich von Pol zu Pol die Wasser- und die Säure- oder Salztheilchen in Reihen ordnen, die alsdann den Strom mit verschiedener Stärke leiten müssen.

§. 464.

e) *Magnetische Wirkungen.* Die allgemeinsten Wirkungen des elektrischen Stroms auf die Magnetnadel sind schon im §. 437 und 438 angegeben. Darnach ist die magnetische Wirkung in allen Theilen des Schliessungsdrahtes gleich gross und der Stromstärke S proportional. Dasselbe gilt für alle Theile des Stromes. Ist nun die Länge des Schliessungsdrahtes $= l$ und die reducirte Länge der Kette $= w$, so ist die Stromstärke $S = \frac{E}{w + l}$. Bezeichnet man diese durch $\frac{E}{L}$, so ist für jede Längeneinheit von L die Wirkung m auf eine Magnetnadel dieselbe und wird vorgestellt durch $m = a \,.\, S$; sie ist also für L Längen-Einheiten: $mL = aSL$, oder es ist die ganze magnetische Wirkung

$$M = aSL.$$

Von dem chemischen Effekt der Kette gilt der Theorie nach daselbe, weil z. B. die Menge des zersetzten Wassers der Stromstärke roportional ist und der Strom in dem Schliessungsdraht unendliche Mal durch Wasser unterbrochen und zur Zersetzung benutzt werden önnte. Dieser Benutzung der Effekte jedes Querschnitts steht aber der us der Polarisation der Querschnitte, das heisst der Elektrodenplatten, ntsprungene Widerstand entgegen.

Führt man in der Gleichung $M = aSL$, für S den Werth $\frac{E}{R}$ in, so wird $M = \frac{aEL}{R}$. Da $\frac{L}{R}$ von der Länge des Schliessungsdrahes abhängt, und E die elektromotorische Kraft ist, so ist also M, oder er *magnetische Totaleffekt, von der Stromstärke ganz unabhängig.* Nur ei der Wirkung eines bestimmten Längenstücks vom Draht ist die tärke des Stromes von Einfluss. Daraus geht aber hervor, dass die agnetische Wirkung des Schliessungsdrahtes mit Ausnahme der ersten blenkung der Magnetnadel keine Verminderung der mechanischen Wirungsfähigkeit der Kette zur Folge haben kann. Diess geht aber auch araus hervor, dass die chemische Wirkung der Kette nicht geschwächt ird, wenn man den Schliessungsdraht auf seinem Wege an einer oder ehreren Magnetnadeln vorbeiführt.

Die gesammte Wärmewirkung wird nach §. 448 ausgedrückt durch $V = S^2 R$ oder $= S \cdot E$. Sie ist also abhängig von der Stromstärke nd folglich auch von der in der Kette oxydirten Zinkmenge.

Da der Schliessungsdraht einer Kette zugleich chemische, magnesche und Wärmewirkungen hat, so wird die durch Oxydirung oder erbrennung des Zinks gewonnene lebendige Kraft auf die Hervorbring aller dieser Erscheinungen, so wie auf die Ausdehnung der Leiter, f Erzeugung inducirter Ströme und vielleicht noch auf andere unbennte Veränderungen verwendet. Ihre Wirkung ist also die Summe ler der einzelnen Arbeiten, die sie unter der Form von chemischer rsetzung, Wärme-Erregung, Ablenkung der Magnetnadel u. s. w. verhtet hat. Es wird darum die Darstellung des innern Zusammenhans dieser durch Erfahrung gewonnenen Gesetze immer auf grosse hwierigkeiten stossen.

Eine dieser Aufgaben, das gebräuchliche Maass für die Stromintensität auf chanisches Maass zurückzuführen, hat *W. Weber* gelöst, indem er bewiess, dass Kraft, welche bei der Scheidung der Wasserstofftheilchen von den Sauerstoffilchen, welche in 1 Milligramm Wasser enthalten sind, auf folgende Art ausgedrückt rden kann: Wären alle Theilchen Wasserstoff in 1 Milligr. Wasser einer 1 Milliter langen Säule an einen Faden geknüpft, und an einen andern Faden alle ilchen Sauerstoff, so müssten beide Fäden in entgegengesetzter Richtung, jeder einem Gewicht von 2956 Centnern gespannt werden, um eine Zersetzung mit r solchen Geschwindigkeit hervorzubringen, nach welcher 1 Milligr. Wasser in Sekunde zerlegt werden würde. Nach der Theorie Anderer braucht man einen ftverlust, welcher auf die Ueberwindung der chemischen Verwandtschaft zwischen elektrolysirten Körpern verwendet wird, nicht anzunehmen, weil nach §. 463 Trennung zweier Atome eine Wiedervereinigung zweier andern mit gleicher ke folgt. Wirkliche Arbeit verrichtet nach ihnen die Kette nur in der mechahen Ueberführung von Pol zu Pol.

Aus der mechanischen Wirkung des Stromes auf ein Magnetometer und der chzeitigen Wärmewirkung eines gleichstarken Stromes muss sich das Arbeitsuivalent der Wärmeeinheit ergeben. Untersuchungen dieser Art haben *Quintus*

Icilius, *Joule* und *Bosscha* angestellt und dadurch Werthe gefunden, welche sehr nahe mit dem in §§. 351 und 360 angeführten Wärme-Aequivalent von 424 K.M. übereinstimmen.

§. 465.

Die magnetischen Wirkungen des Stromes, so wie die chemischen geben beide, wie in den §§. 438 und 452 gezeigt worden ist, ein relatives Maass für die Stromstärke. Aus diesem Grunde sind viele Versuche gemacht worden, eine absolute *Maasseinheit* für die *Stromstärke* einzuführen. *Jacobi* nahm dafür einen Strom, welcher in 1 Minute mit Hilfe des Voltameters (Fig. 571, Seite 594) *einen Kubikcentimeter* Knallgas von 0° Wärme und einer Expansivkraft von 760 *mm* gibt. Diese Einheit ist für die Praxis sehr bequem; aber bei schwachen Strömen oft nicht anwendbar. *Wilh. Weber* hat nicht allein aus diesem, sondern auch aus andern wissenschaftlichen Gründen ein anderes, auf die Einheit des Magnetismus in folgender Weise sich stützendes Maass vorgeschlagen. Man denke sich eine Tangenten-Boussole, deren Kreisfläche einen Quadratmillimeter beträgt, und einen Strom, der durch die Peripherie derselben geht, so kann dieser Strom auf ein Magnetstäbchen, welches in der Mitte dieser Boussole hängt, dasselbe Drehungsmoment ausüben, als ein Magnetstäbchen von der Stärke 1 in der Entfernung von 1 Millimeter, bei der im §. 403 angeführten gegenseitigen Lage. Dieser Strom ist alsdann die von *Weber* eingeführte Einheit der elektrischen Ströme. Nach sorgfältigen Untersuchungen erhält man durch einen Strom von dieser Stärke in 1 Minute 1,0477 Cub.-Centim. Knallgas. Das Verhältniss beider Einheiten, der Stromstärke von *Jacobi* und der von *Weber*, ist also wie 1 zu 1,0477.

Durch die Stromstärke und den Widerstand einer Kette ist ihre elektromotorische Kraft gegeben, weil nach §. 442 $S = \frac{E}{R}$ folglich $RS = E$. Wäre also ein absolutes Maass für den Widerstand der Kette gegeben, so könnte man auch die elektromotorische Kraft in absolutem Maass ausdrücken. Indem es schwierig ist, das von *Weber* auch für den Leitungswiderstand angegebene absolute Maass zur Anschauung zu bringen, genüge es hier, den Zusammenhang desselben mit der von *Jacobi* vorgeschlagenen Einheit des Widerstands anzugeben. Letztere ist gleich dem in einem Kupferdraht von 7519¾ Millim. Länge, ⅔ Millim. Dicke und 22449,3 Milligramm Gewicht. Da aber nicht aller Kupferdraht bei sonst gleichen Dimensionen denselben Widerstand leistet, so muss man einen solchen Etalon besitzen, der schon mit dem von *Jacobi* verglichen ist. Dieses *Jacobi*'sche Widerstandsmaass beträgt so viel als 6000 Millionen Einheiten von *Weber's* Einheiten, welche letztere mit Hilfe des Erdmagnetismus stets wieder gefunden werden kann.

Nach §. 438, Anm., wird die Ablenkung u der Magnetnadel einer Tangenten-Boussole, welche im magnetischen Meridian aufgestellt ist, durch einen Strom von der Stärke S ausgedrückt durch die Formel

$$\text{tang}\, u = \frac{2\pi S}{R T}.$$

worin R der Halbmesser der Tangentenboussole und T die horizontale Intensität des Erdmagnetismus bedeutet. Es folgt daraus, dass für irgend einen Strom

$$S = \frac{R T \text{ tang } u}{2\pi} \ldots \text{I.}$$

ist. Dieselbe Ablenkung u kann aber auch ein Magnetstab in der Entfernung R bewirken, wenn, wie man durch Multiplication von II. und III. in Anmerkung zu §. 404 erhält,

$$\frac{M}{T} = \frac{R^3 \operatorname{tg} u}{2} \text{ oder wenn } M = \frac{T R^3 \operatorname{tg} u}{2} \text{ ist.}$$

Dividirt man I. durch die letzte Gleichung, so erhält man

$$\frac{S}{M} = \frac{1}{\pi R^2} \text{ oder } S = \frac{M}{\pi R^2} \ldots \text{II.}$$

wo die Stromstärke durch die Magnetkraft des Stabs und den Abstand R ausgedrückt ist. Als Einheit für die Stromstärke hat nun *Weber* diejenige Grösse von S angenommen, bei welcher $M = 1$ und $\pi R^2 = 1$ ist; das heisst also eine Stromstärke, welche einen Kreis von dem Flächeninhalt $\pi R^2 = 1$ umströmend, dieselbe drehende Wirkung hat, als ein Magnet von der Stärke 1 in der Entfernung von 1 Millim. Um also einen Strom nach diesem Maass zu messen, hat man nur eine Tangentenboussole nöthig, deren Durchmesser bekannt sein muss. Findet man z. B., dass $u = 10^0$, und ist $T = 1{,}8$. $R = 400$ Millim., so ist nach I.

$$S = \frac{400 \,.\, 1{,}8 \,.\, \operatorname{tg} 10^0}{2 \,.\, 3{,}14} = 20{,}2.$$

Will man sich von der Uebereinstimmung der obigen Angabe des Verhältnisses zwischen dem Maass von *Weber* und dem von *Jacobi* überzeugen, so darf man nur noch ein Voltameter einschalten. Die Tangentenboussole muss aber bei der zur Wasserzersetzung nöthigen Stärke des Stroms einen Durchmesser von wenigstens 40 Centim. haben.

Durch Vergleichung der elektromotorischen Kraft der verschiedenen Ketten nach der im §. 443 angegebenen und andern Methoden haben *Wheatstone* und Andere gefunden, dass wenn man die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette = 100 setzt, die der folgenden Ketten durch nebenstehende Zahlen näherungsweise ausgedrückt wird:

Kupfer und amalgamirter Zink in verdünnter Schwefelsäure .	= 67
Bleisuperoxyd und Kaliumamalgam in dito	= 320
Grove's Kette in Salpetersäure und 1/4 Schwefelsäure in Wasser	= 180
Diese und 1/12 Schwefelsäure in Wasser	= 150
Zink und Eisen in Aetzkali mit 6 Wasser	= 100
Zink und Platin in verdünnter Salpetersäure	= 149

E. Elektrizität durch chemische und organische Prozesse.

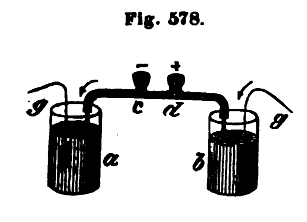
§. 466.

Die Ursache, warum beim Eintauchen verschiedener Metalle in eine Flüssigkeit das eine oder das andere der stärkere Elektromotor wird, ist bei manchen Fällen in der chemischen Einwirkung der Flüssigkeit auf das Metall zu suchen. Es ist darum schwer, die beiden Ursachen, Contact und Affinität, von einander zu trennen, und daher rührt auch der in dem Vorhergehenden öfter angeführte Streit zwischen den Anhängern der Contact-Theorie und der chemischen Theorie. Die folgenden Erscheinungen werden als Beweise des Entstehens von Elektrizität durch chemische Wirkung angesehen, und finden, der leichteren Uebersicht wegen, in einem besonderen Kapitel ihre Stelle.

Wenn man in ein Gefäss mit Salpetersäure die Enden zweier Platindrähte taucht, die mit dem Multiplicator verbunden sind, so findet keine elektrische Wirkung statt; lässt man aber in die Salpetersäure, in welche beide Drähte eingetaucht sind, in der Nähe des einen Drahtendes einige Tropfen Salzsäure fallen, so zeigt die Magnetnadel augenblicklich an, dass dieses Ende negativ-elektrisch geworden ist, indem es von dem gebildeten *Königswasser* angegriffen wurde.

Um die elektrische Wirkung einer Säure auf ein Alkali zu beobachten, nimmt man zwei Gefässe *a* und *b*, Fig. 578, und giesst Salpetersäure hinein. Die Drähte des Multiplicators versieht man mit Platindrähten, die sich in Blättchen endigen, welche man in diese Gefässe taucht. Hierauf zieht man durch eine Glasröhre, die bei *c* und *d* kleine Oeffnungen hat, und ohngefähr einen Decimeter lang ist, einen mit Wasser befeuchteten Streifen Asbest. Bringt man nun bei *c* einen Tropfen Säure, und bei *d* einen Tropfen Alkali in Berührung mit dem Asbest, so entsteht, sobald sich diese Flüssigkeiten in der Mitte begegnen, ein Strom, welcher beweist, dass die Säure positiv-, das Alkali negativ-elektrisch geworden ist.

Fig. 578.



Auf diese Art hat *Becquerel* gefunden, dass Salpetersäure positiv wird mit Salzsäure, Essigsäure, salpetriger Säure, alkalischen Auflösungen, während sie negativ wird mit Schwefelsäure und Phosphorsäure, und dass die Phosphorsäure mit allen Säuren und Alkalien positiv wird. Wasser verhält sich gegen Säuren wie ein Alkali, und gegen Alkalien wie eine Säure. Wenn man zwei Kapseln *a* und *b* mit salpetersaurer Kupferauflösung füllt, und nachdem man sie durch einen Asbeststreifen verbunden hat, in jede das Ende eines reinen Kupferstreifens taucht, so erfolgt kein Strom; sobald man aber in die Kapsel *a* einen Tropfen Salpetersäure fallen lässt, wird das in *a* befindliche Drahtende negativelektrisch und mit Schwefelsäure positiv-elektrisch.

Um die Elektrizitäts-Entwicklung bei der Verbrennung der Körper zu finden, nahm *Pouillet* einen dicken Cylinder von Kohle, und zündete ihn unter dem Collector eines Elektroskopes an, während er die Kohle in Verbindung mit der Erde gebracht hatte. Das entwickelte kohlensaure Gas gab positive Elektrizität, während die Elektrizität der Kohle negativ wurde. Ebenso fand er, dass bei der Verbrennung des Wasserstoffgases der Sauerstoff positiv-, der Wasserstoff negativ-elektrisch wird, und dass überhaupt, wo sich der Sauerstoff mit einem andern Körper verbindet, der erstere positive und der verbrennbare Körper negative Elektrizität abgibt. Ueber die Elektrizitäts-Erregung, beim Eintauchen verschiedener Metalle in eine Flüssigkeit, ist das Wichtigste schon früher vorgekommen.

§. 467.

Die Entstehung von Elektrizität bei der Lösung von Salzen in Wasser hat *Wüllner* nachgewiesen und dabei gefunden, dass bei Lösung neutraler und basischer Salze die dichtere Lösung positiv ist, gegen das Lösungsmittel; bei sauren Salzen dagegen ist im Allgemeinen die dichtere Lösung negativ gegen das Lösungsmittel. Die Stromstärke aber wächst in allen Fällen mit der grössern Löslichkeit der Salze.

Ebenso spricht für die Entwickelung von Elektrizität bei chemischen Verbindungen folgender Versuch von *Böttger*. Wenn man den Teller eines *Bohnenberger*'schen Elektroskopes mit einer dünnen Messingplatte bedeckt, und auf diese einige Krystalle salpetersauren Kupfer- bringt, welche in durchlöcherten Stanniol gewickelt sind, so sieht

man, wenn das Ganze durch einige Tropfen Wasser benetzt ist, sobald die Zersetzung des Salzes beginnt und salpetrigsaure Dämpfe aufsteigen, negative Elektrizität frei werden.

Nachfolgender Versuch von *Becquerel*, der sich aber auch durch Contact erklären lässt, gehört ebenfalls hieher: Man bringt mit dem einen Ende des Multiplicatordrahtes ein Platinlöffelchen, mit dem andern einen Platindraht in Verbindung, giesst in das erste Kalilauge und taucht den Platindraht zuerst in Salpetersäure, dann in die Kalilauge, welche in dem Löffelchen ist.

§. 468.

Sowohl die chemische Einwirkung der Körper auf einander als die vertheilende Kraft der Elektrizität, bringen in den Metallen merkwürdige Veränderungen hervor, welche zeigen, dass auch nach dem Aufhören dieser Ursachen der elektrische Zustand fortdauere, in welchen sie dadurch versetzt worden sind. Dahin gehört z. B. die von *Keir*, *Herschel* und besonders von *Schönbein* vielseitig untersuchte Eigenschaft des Eisens, dass es von Salpetersäure, deren Dichte höchstens 1,35 ist, nicht mehr angegriffen wird, wenn man es kurze Zeit mit dem positiven Pol einer zusammengesetzten Kette in Berührung gebracht hat. Dasselbe ist der Fall, wenn man einen blanken Eisendraht in Salpetersäure von 1,48 Dichte eingetaucht hat; während er in verdünnterer Salpetersäure von 1,35 Dichte erst nicht mehr angegriffen wird, wenn man ihn mehremal eingetaucht hat. Diese Eigenschaft, welche *Schönbein* die *Passivität* des Eisens nennt, erlangt ein Eisendraht auch, wenn man ihn an dem einen Ende so lange bis zum Rothglühen erhitzt, dass er etwas oxydirt wird, und ihn dann erkalten lässt. In Salpetersäure von obiger Dichte wird er längere Zeit hindurch nicht mehr angegriffen. Biegt man nun das andere Ende so, dass es ebenfalls in die nämliche Säure taucht, so ist es gleichfalls passiv. Passives Eisen fällt aus Kupfervitriol-Auflösung kein Kupfer mehr, sobald es aber durch Reibung seine Passivität verliert, erhält es auch diese Eigenschaft wieder.

Diese auch noch an andern Körpern wahrgenommenen Erscheinungen können zum Theil in die Klasse derjenigen gerechnet werden, welche im §. 453 unter dem Namen Polarisation beschrieben wurden. Das Eisen, indem es sich mit einer Oxydschichte bedeckt, wird positiv-elektrisch, während der Ueberzug negativ-elektrisch ist. Im negativ-elektrischen Zustand aber kann es keinen Sauerstoff mehr aufnehmen, und wird also nicht weiter oxydirt. Dagegen schlägt sich an dem negativ-elektrischen Körper aus der Auflösung das Kupfer nieder. *Beetz* hat nachgewiesen, dass das Eisen durch die oxydirende Wirkung nur desshalb stärker passiv wird als andere Metalle, weil die elektromotorische Kraft zwischen ihm und seinem Oxyd grösser ist, als z. B. die zwischen Zink und seinem Oxyd. Von dieser Veränderung der Oberflächen kommt es auch, dass wenn man gleichzeitig zwei mit dem Galvanometer verbundene gleichartige Drähte in eine Flüssigkeit taucht und sodann den einen heraushebt und gleich wieder eintaucht, ein Strom entsteht.

§. 469.

Viele Erfahrungen beweisen, dass in organischen Körpern durch die Lebensthätigkeit Elektrizität erregt wurde. Man gibt der auf diesem

Wege entstandenen Elektrizität den Namen *physiologische Elektrizität.* Man will sie bemerkt haben:

a. Bei Pflanzen. Diese sollen zuweilen plötzlich Lichtfunken ausstrahlen. Diese Behauptung bestätigte sich aber nicht. Eben so wenig die von *Pouillet* gemachte Beobachtung, dass durch die Vegetation eine Menge negativer Elektrizität entwickelt werde. Die elektrischen Ströme *Donne's*, welche z. B. in den Aepfeln von der Knospe zum Stiel gehen sollen, sind wahrscheinlich eine Folge der verschiedenen Flüssigkeiten, welche an diesen Orten mit dem Draht des Galvanometers in Berührung kommen.

b. An Thieren. Nach *Ahrens* ist der menschliche Körper in der Regel positiv-elektrisch. Dass aber diese Elektrizität zuweilen von selbst bis zum Funkengeben sich steigert, verdient wenig Glauben. Gewisse Fische aber, wie der Zitteraal, Zitterrochen, Zitterwels erregen mittelst besonders dazu bestimmter Organe unter dem Einfluss des Nervensystems willkürliche elektrische Ströme von grosser Kraft in bestimmter Richtung und von nur augenblicklicher Dauer. Berührt man darum einen dieser Fische mit beiden Händen, so erhält man einen Schlag; und nach *J. Davy* bringt sogar ein Draht, welcher mit dem Rücken und dem Bauch des Zitterrochen in Verbindung gebracht wird, chemische, magnetische und Wärme-Wirkungen hervor, wie der Schliessungsdraht einer *Volta*'schen Säule. Dasselbe findet auch bei den andern statt. *Colladon* fand, dass der Rücken dieses Fisches sich gegen die Magnetnadel wie das Kupferende und der Bauch wie das Zinkende einer hydroelektrischen Kette verhält. Beim Zitteraal ist nach *Faraday* der vordere Theil positiv, der hintere negativ und nach *Du Bois Reymond* auch beim Zitterwels. Bringt man beim Zitterrochen die Enden des Multiplicator-Drahtes nur am Rücken oder am Bauche des Fisches an, so erfolgt dennoch keine Ablenkung, wenn die berührten Stellen unsymmetrisch gegen die Mittellinie liegen. Dasselbe geschieht bei den beiden andern elektrischen Fischen, wenn die Drähte nur an zwei der Länge nach verschiedenen Theilen angebracht werden. *Linari* erhielt einen Funken, als er den Strom vom Rücken zum Bauche des Zitterrochen durch Drähte leitete, welche in einer mit etwas Quecksilber gefüllten *U*-förmigen Glasröhre die Oberfläche des letztern berührten. Bei dem Zitteraal liegt das elektrische Organ, welches aus zellgewebartigen säulenförmigen Abtheilungen besteht, im Schwanztheil. Es sind ohngefähr 400 solcher Säulen, die mehrere Reihen bilden und horizontal liegen, während die 3 bis 4 Millionen Abtheilungen oder Glieder, aus denen sie bestehen, vertikal sind. Nach der von *Bilharz* am Zitterwels vorgenommenen anatomischen Zergliederung ist das elektrische Organ eine Fortsetzung des Nervensystems. In dem Organ liegt eine ungeheure Zahl winziger Plättchen hinter und neben einander geschichtet, und die Richtung des Schlags geht stets senkrecht zu diesen. Der elektrische Nerv löst sich in unzählige Endzweige auf, die sich zuletzt in die eine Fläche der Plättchen einsenken. Beim Zitterwels gehen sie erst von der Schwanzseite durch ein feines Loch des Plättchens und versenken sich auf der Kopfseite des Plättchens, beim Zitteraal direct auf der Schwanzte. Daher kommt es, dass bei dem ersten die Kopfseite negativ ist, lem andern die Schwanzseite des Organs. Die Fische ertheilen

selten nur *einen* Schlag, sondern mehrere hinter einander, wie *Du Bois Reymond* durch den *Froschwecker* gefunden hat, ein Nervmuskelpräparat, welches beim Durchgang des Stroms einen Hammer bewegt, der auf eine Glocke schlägt. Die Wirkung des elektrischen Organs geht bei Ertheilung eines Schlages nach allen Seiten und man empfindet sie, wenn man auch nur eine Hand in das Bassin taucht, in dem sie sich befinden. Dagegen hat *Du Bois* beim Zitterwels nachgewiesen, dass dieser Fisch, und wahrscheinlich jeder elektrische Fisch, die stärksten elektrischen Schläge ohne Nachtheil aushält. Nach *Matteuci* zeigen sogar abgeschnittene Stücke von elektrischen Fischen noch elektrische Wirkungen.

Auch an frisch getödteten und lebenden Fröschen hat *Nobili* einen galvanischen Strom nachgewiesen. Verbindet man die Enden des Drahtes von einem sehr empfindlichen Galvanometer mit dem Becken und einem Fuss des Frosches, so gibt die Ablenkung der Magnetnadel das Dasein eines Stromes an, der im Innern des Thieres von dem Fuss nach dem Becken geht. Dieser Strom, welchen man den *Froschstrom* nennt, bestätigt die schon von *Galvani* auf anderem Wege gemachte Entdeckung, dass die Nerven und Muskeln dieses Thieres wirkliche Elektrizitätsquellen sind.

Der Froschstrom ist in der neuern Zeit die Veranlassung zu den interessantesten Entdeckungen in der Physiologie geworden. *Du Bois Reymond* hat zuerst nachgewiesen, dass der Froschstrom nur einer der unzähligen elektrischen Ströme ist, welche in allen Theilen des Nervensystems und der Muskeln aller Thiere vorkommen. Er fand, dass, wenn ein beliebiger Punkt des natürlichen oder künstlichen Längsschnitts eines Muskels oder eines Nervs mit einem beliebigen Punkt des Querschnitts desselben in Elektrizität leitende Verbindung gebracht wird, ohne dass dadurch eine Spannung entsteht, sich an dem in diesen Leiter eingeschalteten Galvanometer dennoch ein elektrischer Strom zeigt, der durch dasselbe von dem Berührungspunkte des Längsschnitts zu dem des Querschnitts geht. Ebenso zeigen sich schwächere Ströme, die durch den Leiter von einem äussern Punkte des Querschnitts nach einem näher an der Mitte liegenden gehen, und endlich solche, die von der Mitte des Längsschnitts durch einen Leiter nach einem von ihr entfernten Punkt des Längsschnitts gehen.

Du Bois Reymond hat ferner gezeigt, dass diese Ströme in dem Augenblick bestimmte Veränderungen erleiden, wo im Nerv der die Bewegung und Empfindung vermittelnde Vorgang stattfindet, und in Folge davon der Muskel contrahirt wird. Er wies das Entstehen eines Stromes bei der freiwilligen Zusammenziehung des Muskels auch am ganz gesunden Körper nach. Eine der merkwürdigsten Folgen davon ist die, dass man gleichsam durch die Kraft des Willens allein im Stande ist, die Nadel eines Galvanometers abzulenken. Verbindet man nämlich jedes der beiden Drahtenden desselben mit einem Glasgefäss, in welchem Salzwasser ist, und taucht man in jedes Glas eine Hand oder einen Finger, so entsteht augenblicklich ein Strom, sobald man einen seiner Finger stark krümmt und den Muskel in dieser Spannung einige Augenblicke erhält. Die Nadel des Galvanometers wird dann abgelenkt, weil ein Strom durch dieses und den menschlichen Körper geht. Diese Ab-

lenkung findet auch noch statt, selbst wenn man Widerstände einschaltet, die denen eines Telegraphen-Drahtes von mehreren hundert Meilen Länge gleich sind; man könnte also auch durch die abwechselnde Krümmung des rechten und linken Fingers bis auf die grössten Entfernungen telegraphiren. Die von *Du Bois* aufgestellte Theorie scheint diese und viele andere Erscheinungen, die der Zitterfische inbegriffen, genügend zu erklären, kann aber hier nicht weiter verfolgt werden. Dass desshalb die physiologische Elektrizität identisch ist mit der gewöhnlichen, folgt noch nicht daraus. Es können auch beide nur besondere Wirkungen einer allgemeineren Ursache sein, wie aus *Baxter's* Untersuchungen hervorzugehen scheint, wornach die Polarisationszustände von Nerv und Muskelfibern von Aenderungen während der Ernährung abhängen.

Vergeblich würde man sich bemühen, mit einem gewöhnlichen Galvanometer die Versuche von *Du Bois* zu wiederholen; denn nur durch ein tieferes Studium und grosse Verbesserungen desselben konnte er obige Resultate erhalten. Das Wichtigste bei diesen Versuchen ist Folgendes: Das Galvanometer muss 6000—7000 Umwindungen haben, die sorgfältig von einander durch Seide isolirt und sehr regelmässig sind. Der dazu angewandte Kupferdraht wird am besten von der feinsten Sorte genommen, bei der noch lange Stücke zu erhalten sind, und muss eisenfrei sein. Die astatische Nadel muss so leicht als möglich und doch stark magnetisch sein. Sie darf, wenn sie aus dem magnetischen Meridian gebracht wird, nur 1—2 Schwingungen in 1 Minute machen, und wenn sie in der Multiplicator-Rolle sich wegen des im Kupfer nie ganz fehlenden Eisens quer stellt, so muss sie durch eine in der Nähe aufgestellte magnetische Stricknadel auf den Nullpunkt des Galvanometers, also in den Meridian zurückgeführt werden. Die Drahtenden des Galvanometers setzt man mit zwei vollkommen gleichen Platinblechen in Verbindung, die gleichtief in zwei Gläser mit Salzwasser eingetaucht sind, und damit sie dem letztern immer gleich grosse Flächen darbieten, bis zu einer gewissen Höhe einen Ueberzug von Fliesspapier haben, und von dort an stark gefirnisst sind. In diese Gläser darf man die Finger nicht tauchen, sondern in zwei andere, gleichfalls mit Salzwasser gefüllte Gläser, die mit jenen durch Glasröhren, welche Salzwasser enthalten und an beiden Enden mit Leinwand verschlossen sind, leitend verbunden werden. Diess geschieht desshalb, damit die Platinbleche nicht verunreinigt werden und dadurch an der Oberfläche sich verändern. Um die Muskel- und Nervenströme zu zeigen, werden auf den Rand der obigen Gläser dicke Papierlagen, die stark mit Salzwasser getränkt sind, befestigt, und diese durch den Muskel oder Nerv leitend verbunden.

Man hat versucht, die Elektrizität zur Heilung der Krankheiten anzuwenden, und sie desshalb bald als physische, bald als chemische Kraft auf die Organe wirken lassen. Im erstern Falle bedient man sich entweder der Elektrizität einer Elektrisirmaschine oder einer Leidner Flasche, oder der Elektrizität einer *Volta*'schen Kette. Im letztern Falle leitet man den elektrischen Strom ohne Unterbrechung durch das leidende Organ, und setzt es entweder mit dem positiven oder mit dem negativen Pole in Verbindung, je nachdem man eine saure oder alkalische Reaction herorbringen will. Die weitere Ausführung der ersten Anwendung der Elektrizität, welche besonders bei Nervenkrankheiten, als Lähmung, Schwäche der Gehör- und Gesichtsnerven und beim Asthma, von Erfolg war, und noch mehr untersucht zu werden verdient, gehört nicht hieher. In den meisten Fällen wendet man mit der grössten Bequemlichkeit den inducirten Strom mit Hilfe des später zu beschreibenden *Neeff*'schen Apparates, oder einen magnetisch-elektrischen Inductions-Apparat an.

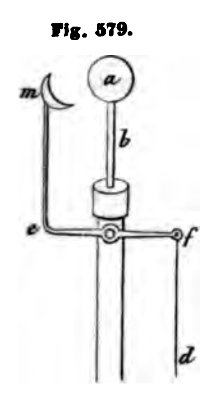
Middeldorp wendet den glühenden Schliessungsdraht der Kette an statt der Incision, so wie bei Ligaturen und Cauterisation. Die Entzündung ist dadurch sehr beschränkt und wird nie diffus.

F. Elektrizität durch atmosphärischen Prozess.

§. 470.

Um den elektrischen Zustand der Atmosphäre zu finden, errichtet man auf dem Gipfel eines Gebäudes eine zugespitzte Eisenstange von 24 bis 30 Fuss Länge. Diese Stange muss gut isolirt sein und durch eine Kette oder einen Draht mit dem in einem Zimmer befindlichen Elektrometer in Verbindung stehen. Dem Ende der Kette steht in geringer Entfernung das einer andern Kette gegenüber, welche in die Erde hinabgeht, um bei Gewittern die Blitze in dieselbe abzuleiten. Man kann aber auch auf das Ende eines langen hölzernen Stabes eine Glasröhre befestigen, diese mit einer metallenen Spitze versehen, und von letzterer einen Draht zu dem Elektrometer herabgehen lassen. An die Spitze des Drahtes steckt man ein Stück brennenden Zunders, wenn die Luftelektrizität sehr schwach ist. Auf diese Art erhält man die Luftelektrizität direct. *Dellmann* hat dagegen gezeigt, wie man sie sicherer finden kann, wenn man die der Luftelektrizität entgegengesetzte Elektrizität in einer isolirten Metallkugel a, Fig. 579, ansammelt. Letztere ist auf eine bewegliche Stange mit einem isolirenden Fuss b aufgestellt und kann, nachdem die Stange hoch in die Luft erhoben ist, mit der Erde dadurch in Verbindung gesetzt werden, dass man das Ende m des metallenen Hebels mef durch Anziehen des Drahtes fd mit der Kugel in Berührung bringt. Nach aufgehobenem Contact hat die Kugel die der Luftelektrizität entgegengesetzte Elektrizität. Die Kugel wird sodann mittelst des isolirenden Fusses b abgenommen und mit dem Elektrometer in Berührung gebracht. Schon durch die erste Vorrichtung haben *Saussure*, *Arago*, *Schübler* und Andere gefunden, dass bei heiterem Wetter die Luft stets positive Elektrizität zeigt. Diese erreicht täglich zwei Maxima, welche einige Stunden nach dem Auf- und Untergange der Sonne eintreten. In den Morgenstunden ist die Elektrizität der Luft am stärksten, vor dem Auf- und Untergehen der Sonne aber am schwächsten. Im Winter ist sie bei gleicher Heiterkeit des Himmels stärker als im Sommer. *Saussure* fand ferner, dass ihre Stärke bei heiterem Wetter mit der Höhe zunimmt. Um sich davon zu überzeugen, befestigte *Becquerel* auf dem St. Bernhard einen langen und feinen Goldlahnfaden mit dem einen Ende an ein empfindliches Elektrometer, und mit dem andern an einen Pfeil, welchen er mittelst eines Bogens abschoss, und es zeigte sich um so mehr Elektrizität, je höher der Pfeil über der Erde hinflog. Dass diese Elektrizität nicht durch Reibung entstanden sein konnte, geht daraus hervor, dass nicht eine Spur derselben sich zeigte, als der Pfeil nur in einer Höhe von drei Fuss über der Erde horizontal abgeschossen wurde. Nach den Versuchen von *W. Thomson* am Ufer der Insel Arran ist in 3 Meter Höhe

Fig. 579.



die Spannung der Luftelektrizität gleich der einer *Daniell*'schen Kette von 200 bis 400 Elementen.

Die Ursache der Luftelektrizität ist noch unerwiesen; denn die frühern Versuche von *Volta, Pouillet* und Andern, wornach bei der Verdampfung unreinen Wassers das Gefäss negativ- und der Dampf positiv-elektrisch werden, lassen sich, wie *Reich* und *Riess* nachgewiesen haben, dadurch erklären, dass die Flüssigkeitstheilchen sich dabei gegen feste Körper reiben. Es ist inzwischen möglich, dass dennoch die Verdampfung auf eine noch unbekannte Art Elektrizität erzeugt. Die Thatsache, dass der beim Verbrennen von Kohlen und andern Körpern aufsteigende Rauch positiv-elektrisch ist, genügt nicht, um das Entstehen einer so grossen Menge von Luftelektrizität zu erklären. Da es bis jetzt noch nicht gelungen ist, durch Reibung trockener Gase an einander Elektrizität hervorzurufen, so kann auch die Reibung der Lufttheilchen an einander nicht als die Ursache angesehen werden. Beim Regen ist inzwischen vielleicht die Reibung der Wassertröpfchen unter sich und an der Luft eine Quelle von Elektrizität, denn je dichter die Niederschläge sind, desto stärker ist die Elektrizität der Wassertheilchen. Welches aber auch die Ursache sein mag, so besteht die Thatsache, dass die positive Elektrizität der Luft in um so grösserer Menge zur Erde herabgeleitet wird, je feuchter die Atmosphäre ist. Daher geht, wenn Morgens die Luft abgekühlt und feucht ist, viel Elektrizität herab. Wenn aber die Sonne höher steht, so wird die Luft trocken. Die Elektrizität geht daher nicht mehr herab, und das Elektrometer zeigt ein Minimum. Nach dem Untergang der Sonne wird die Luft feucht und leitet die Elektrizität aus der Höhe herab, und es zeigt sich ein zweites Maximum. Die Abnahme der Elektrizität erfolgt nun immer mehr, bis vor Sonnenaufgang wieder ein Minimum eingetreten ist. Im Winter, wo die Feuchtigkeit der Luft grösser ist, wird die Elektrizität aus den höhern Regionen besser herabgeleitet, als im Sommer, wo die Luft trockener ist. Nach *Dellmann* ist die Luftelektrizität im Mai am schwächsten und wächst von da an bis in den December, wo sie ihr Maximum erreicht und wieder bis zum Mai abnimmt. Aus dieser Ansicht erklärt sich auch der durch *Reat* und *Peltier* beobachtete negativelektrische Zustand der Erde bei heiterem Wetter; die Oberfläche der Erde wird durch Influenz negativ und das Plus der Atmosphäre kann sich mit dem Minus ohne feuchtes Zwischenmittel nicht verbinden. Sehr elektrische Luft enthält viel Ozon, und darum kann man nach *Schönbein* den elektrischen Zustand der Luft auch auf folgende Art nachweisen: Man tränkt ein Papier mit Stärkekleister und Jodkalium, trocknet und schneidet es in kleine Streifen. Die Streifen werden in feuchtem Zustande der Luft ausgesetzt und färben sich dann um so schneller blau, je mehr Ozon dieselbe enthält, weil sich dieses mit dem Kalium und das Jod mit der Stärke zu einem blauen Körper verbindet. Zur Vergleichung der verschiedenen Ozon-Mengen, die aus der Luft in einer bestimmten Zeit absorbirt wurden, dient eine Farbenscala, vom schwächsten bis zum dunkelsten Blau, das *Ozonometer* genannt.

§. 471.

Auch bei trübem Wetter ist, nach den Beobachtungen von *Schübler*, die Elektrizität der Luft noch positiv, und im Winter stärker als im Sommer. Zur Zeit von Gewittern, Regen oder Schneegestöber ist sie bald positiv, bald negativ, und viel stärker, als bei heiterem Wetter. Auch gibt es unter den regnerischen Tagen eben so viele mit positiver, als mit negativer Elektrizität. Dabei ist der elektrische Zustand der Erde immer der entgegengesetzte von dem der Luft, und die beiden Elektrizitäten müssen sich daher bis zu einem gewissen Abstande von der Erde neutralisiren. Dieser Abstand beträgt im freien Felde drei bis vier Fuss.

Die Elektrizität der Gewitterwolken hat zuerst *Franklin* nachgewiesen, indem er beim Herannahen eines Gewitters einen papiernen Drachen steigen liess und aus der feuchten Schnur desselben elektrische Funken zog. Die Bildung dieser Wolken gelingt um so besser, je rascher die in der Atmosphäre verbreiteten Wasserdämpfe durch Temperaturabnahme zu Nebeln verdichtet werden, und je dichter diese Nebel sind. Erkältung der Luft kann aber veranlasst werden durch Luftströme, die aus der höhern Atmosphäre niedersinken und durch Eindringen eines kalten Windes, z. B. eines Nordost, in einen warmen aber feuchten Südwest. Die Gewitter im Sommer entstehen meistens auf die erste, die andern auf die zweite Art. Bei warmem windstillem Wetter, wie es häufig im Sommer eintritt, wird der Erdboden stark erhitzt. Es bilden sich Strömungen der Luft von unten nach oben, die in senkrechter Richtung emporsteigen, vermöge ihrer Trägheit grosse Höhen erreichen und eine Menge Wasserdampf in die oberen kalten Regionen mit sich fortführen. Aus diesen entstehen dort Feder- und andere Wolken, die dem Himmel ein weissliches Ansehen geben. Wo Bergabhänge sich befinden, die stärker erwärmt werden, sind diese Ströme aufsteigender Luft besonders lebhaft, und an Sommernachmittagen der grössern Hitze und Dunstmenge wegen häufiger als sonst. Um das Gleichgewicht wieder herzustellen, sinken kalte Luftströme zur Seite der warmen aus der Höhe herab, und diese veranlassen wahrscheinlich die rasche Bildung der Haufenwolken, indem sie auf die dunstreichen niedern Schichten der Atmosphäre herabstürzen. Sie sind auch vermuthlich die Ursache des Gewittersturmes, der aus der Wolke weht, aber gewöhnlich nur kurze Zeit dauert. Aehnliche kalte Luftströme senken sich besonders nach Sonnenuntergang von den Hochgebirgen in die Thäler herab und veranlassen dort das Entstehen von Nebeln. Durch örtliche Umstände, wie Feuchtigkeit und warme Lage des Bodens, wird die Erzeugung der Gewitter begünstigt. So entstehen oft Gebirgsgewitter dadurch, dass die warme Luft an der Wand des Gebirges durch einen lebhaften Südwind zum Aufsteigen genöthigt wird. Auch die Gewitter bei vulkanischen Ausbrüchen sieht man als eine Folge der hochaufsteigenden glühenden Luftmassen an, die in der höhern Atmosphäre ihren Wassergehalt durch Bildung sehr dichter Wolken kundgeben. Im Winter tritt gewöhnlich auf Gewitter grosse Kälte ein, weil diese eine Folge des Eindringens von einem Nordostwind in einen warmen Südwestwind sind, wobei der erstere anhält. Aber auch im Sommer entstehen oft bei uns Gewitter,

wenn sich zwei solcher Luftströme begegnen. Nach *Lamont* ist zur Entstehung eines Gewitters ein unterer nach Westen und ein oberer nach Osten sich bewegender Luftstrom nöthig. Die Windstille, die ihm vorausgeht, ist eine Folge ihres Zusammentreffens und veranlasst die Empfindung der Gewitterschwüle, indem die Ausdünstung des Körpers dadurch gehemmt wird, dass die Luft bereits mit Wasserdämpfen gesättigt ist.

Die Gewitterwolken, welche dichter und von grösserer Ausdehnung sind als die andern, bilden sich auch um desswillen in der heissen Jahreszeit und bei feuchter Witterung leichter, weil, wenn die mit Wasserdünsten gesättigte *warme* Luft nur um einige Grade erkältet wird, nach §. 340 eine viel grössere Menge Wasserdünste zu Bläschen gerinnen muss, als wenn kältere, mit Wasserdünsten gesättigte Luft, um eben so viele Grade erkaltet. Jedenfalls muss bei dem Bilden der Nebel die positive Elektrizität der Dünste sich an der leitenden Oberfläche der Dunstbläschen sammeln. Ist nun die Wolke sehr dicht, so werden die Dunstbläschen einander sehr genähert, und man kann dann die ganze Wolke als einen zusammenhängenden Conductor betrachten. Alle Elektrizität im Innern der Wolke wird sich alsdann nach der Oberfläche begeben und dadurch eine viel grössere Spannung erhalten, weil die Oberfläche der Wolke viel kleiner ist, als die aller Dunstbläschen zusammengenommen. Auf diese Art erklärt man die positive Elektrizität der Wolken. Gegen diese Erklärung spricht aber die Beobachtung *Palmieri's,* dass Gewitter- und Regen-Wolken nur in der Mitte positiv sind, und dass dieser positive Theil von einem breiten negativ-elektrischen Gürtel umgeben ist. Bei Gewittern und Orkanen erscheinen die Wolken aber bald mit positiver, bald mit negativer Elektrizität stark geladen. Diese Erscheinung sucht man zu erklären, indem man annimmt, die positiv-elektrische Wolke veranlasse dadurch die negative Elektrizität einer andern, der Erde nähern Wolke, dass sie in ihr die gleichartige Elektrizität zurückstosse und die ungleichartige herbeiziehe; indem Bäume, Berge und andere Hervorragungen der Erde das Ausströmen der negativen Elektrizität der Erde begünstigen. Es ist auch möglich, dass bei Luftströmen von verschiedener Temperatur derjenige Theil der Luft, welcher erwärmt wird, die positive Elektrizität annimmt, und der andere die negative. Daher kann es kommen, dass die durch zwei Luftströme von verschiedener Temperatur entstehende Wolke bald negativ, bald positiv, bald neutral ist.

Das Gewitter kündigt sich durch die elektrischen Funken an, welche von einer Wolke auf die entgegengesetzt-elektrische überspringen. Durch die Anziehung der ungleichartig-elektrischen Wolken entsteht Bewegung und Aenderung ihrer Form. Bei Annäherung des Gewitters hört man den Donner, welcher von der abwechselnden Ausdehnung und Zusammenziehung der Luft beim Ueberspringen des Blitzes herrührt. Da der Blitz oft einen Weg von mehreren Meilen mit Hilfe der zerstreuten Dunstbläschen in der Luft zurücklegt, so kann der Schall von nahen und entfernten Punkten nicht zugleich in's Ohr gelangen, welches, ausser dem Echo, eine Hauptursache von dem Rollen des Donners ist. Bei der schlechten Leitung der Wolken für die Elektrizität ist ihre Entla- vollständig, es sammelt sich daher neue Elektrizität an ihrer

Oberfläche, welche zu neuen Entladungen Veranlassung gibt. Nach erfolgter Entladung ist die zurückstossende Kraft der Dunstbläschen geringer, die Wolke wird dichter und aus diesem Grund strömt vielleicht auch der Regen heftiger herab.

Die Wirkung einer sehr elektrischen Wolke auf die Erde oder das Wasser kann natürlich keine andere sein, als die der Elektrizität überhaupt. Befindet sich die elektrische Wolke daher in einem gehörigen Abstande von der Erde, so kann sich die entgegengesetzte Elektrizität am gegenüberliegenden Orte anhäufen. Die dazwischen befindliche Luft wird dadurch verdünnt, es entstehen Luftströmungen nach dieser Stelle hin, wodurch Wirbelwinde sich bilden. Leichte Körper, wie Staub, Sand, Laub und dergl. werden mit fortgerissen und bilden mit dem aus der Wolke frei werdenden Wasser eine unvollkommene Leitung zwischen den Wolken und der Erde. In manchen Fällen wird auch das Wasser dadurch emporgehoben. Auf diese Art entstehen wahrscheinlich die *Erdtromben* und *Wasserhosen*. Die elektrischen Entladungen, welche dabei stattfinden, veranlassen die Erhitzung von Pflanzen und Steinen, wodurch Wasserdampf von grosser Elastizität gebildet und das Sprengen von Bäumen u. s. w. bewirkt wird. Entladet sich eine Gewitterwolke plötzlich auf eine höhere Wolke, oder zieht sie schnell vorüber, so findet in solchen Fällen, wo ihr gegenüber an Gebäuden und dergleichen die Elektrizität der Erde stark angehäuft ist, ein Rücktritt der letztern statt, welcher gleichfalls eine Erschütterung veranlassen kann und der *Rückschlag* heisst.

Von der Elektrizität der Gewitterwolken überzeugt man sich dadurch, dass man einen papiernen, mit einem metallenen Stift versehenen Drachen aufsteigen lässt, welchen man an einer seidenen Schnur hält, die mit feinem Eisendraht umwunden ist. Man bemerkt alsdann, dass am Ende des Drahtes Funken überspringen, wenn man ihm einen Leiter gegenüber hält. Dieser Versuch muss jedoch mit grosser Vorsicht angestellt werden. Auch durch Drähte, welche man auf 1000 und mehr Fuss Entfernung von einem Kirchthurm zu einem andern gespannt hat, und von denen isolirte Drähte herabgingen, erhielt man bei Gewittern ausserordentlich starke elektrische Wirkungen. Die Leitungsdrähte der elektromagnetischen Telegraphen sind bei Gewittern immer elektrisch und geben bei jedem Blitzschlag das Dasein eines elektrischen Stromes an. Das *St. Elms*-Feuer, so wie das elektrische Licht, welches zuweilen von den Kleidern und Haaren solcher Personen ausgeht, die sich während eines Gewitters im Freien befinden, rührt von entgegengesetzt elektrischen Ausströmungen her.

§. 472.

Nach *Arago's* Untersuchungen muss man dreierlei Arten von Blitzen unterscheiden: Die zickzackförmigen, welche vollkommen dem Funken gleichen, der vom Conductor einer Elektrisirmaschine überspringt; die Blitze, welche das ganze Gewölk erleuchten, indem sie von einer Wolke auf die andere überspringen, aber schwächer leuchten, als die erstern, und Aehnlichkeit mit dem aus Spitzen ausströmenden elektrischen Lichte haben, und die *Donnerkeile*. Letztere sehen wie Feuerkugeln aus und fahren jedesmal von der Wolke zur Erde; während diess bei denen der ersten Art nicht mehr der Fall ist. Der Schein, als ob die sogenannten Donnerkeile in der Luft eine feurige Spur ihres Wegs zurückliessen, ist eine Folge der Dauer des Lichteindrucks auf unserer Netzhaut.

Der Blitz trifft leicht erhabene Gegenstände, wie Thürme, Bäume,

Schiffe u. s. w., und folgt dabei denjenigen Körpern, welche ihn besser leiten. Schlechte Leiter durchbohrt und zertrümmert er, gute Leiter, wenn sie einen zu grossen Widerstand leisten, erleiden nach dem Grad der elektrischen Entladung alle die, Seite 548.$_{11}$, angeführten Veränderungen. Sie werden erwärmt, in Gluth versetzt, zerrissen, geschmolzen und bei der höchsten Wirkung in Staub verwandelt. Die Luft wird, wenn sie zur Leitung des Blitzes dienen muss, glühend heiss und entzündet dann brennbare Körper. Wo die Leitung des Blitzes unterbrochen ist, springt er auf andere Leiter über, und von schlechten Leitern auf solche mit grösserer Oberfläche. Er reisst leichte Körper mit sich fort und setzt sie anderwärts ab. Daher rührt es, dass er in Gebäuden an manchen Stellen Spuren von Eisen, Kohle und dergleichen zurücklässt. Aber es lässt sich nicht erklären, woher die Schwefelabsetzung rührt. Wenn der Blitz in einen sandigen oder aus andern schmelzbaren Substanzen bestehenden Boden fährt, so entstehen die *Blitzröhren*. Sie sind hohl, oft 20 bis 30 Fuss lang, haben zuweilen Durchmesser von 1 bis 2 Zoll und sind bald einfach, bald in mehrere Zweige getheilt.

Um Gebäude, Schiffe und andere hervorragende Gegenstände gegen die Wirkungen des Blitzes zu schützen, versieht man sie auf *Franklin's* Vorschlag mit *Blitzableitern*. Nach dem von der französischen Akademie der Wissenschaften über die beste Einrichtung des Blitzableiters vor mehreren Jahren erstatteten Berichte, besteht der Blitzableiter am besten aus einer einfachen eisernen Stange, die sich nach oben zuspitzt. Der obere Theil der Spitze ist von Kupfer und vergoldet. An den Fuss des auf das Holz des Daches befestigten Blitzableiters bringt man einen hervorragenden Rand von Metall an, um das Herabrinnen des Wassers in das Holz und die daraus entstehende Fäulniss zu verhindern. Ueber diesem Rande schlingt sich ein eisernes Band um den abgerundeten Eisenstab. An dieses Band ist ein bis in die Erde hinabführender Eisenstab gelöthet oder mit Schrauben auf's Innigste verbunden. Da man kein Beispiel hat, dass eine eiserne Leitstange von $^1/_4$ □ Zoll oder $2^1/_4$ □ Centimeter Querschnitt durch den Blitz geschmolzen ist, so reicht also eine solche für die höchsten Gebäude hin. Bei niedrigen Gebäuden genügt eine Leitstange, die einen im gleichen Verhältniss abnehmenden Querschnitt hat, weil der Leitungswiderstand geringer ist. Da Kupfer ohngefähr sechsmal besser leitet, so kann der Querschnitt sechsmal kleiner sein. Wenn bei der ersten Annahme 1 Fuss vom eisernen Leiter 1 Pfd. wiegt, so braucht man Kupferdraht, von welchem 1 Fuss 6,6 Loth wiegt. Alle andere Metalle kommen ihres schlechten Leitungsvermögens wegen zu hoch. Dieser Conductor darf nirgends eine Unterbrechung haben, und die Eisenstangen, aus denen er besteht, müssen daher gut und nicht durch dazwischen gelegtes Blei mit einander verbunden sein; desshalb nimmt man auch Seile aus Eisendraht dazu, welche aus 15 Drähten zusammengesetzt sind, und einen Durchmesser von 16 bis 18 Millimeter haben. Um das Eisen vor Rost zu bewahren, wird es in beiden Fällen gut getheert, doch wird in den meisten Fällen Kupferdraht vortheilhafter sein. Die ganze Ableitung wird an dem Gebäude durch Haken, die an der Aussenseite angebracht sind, bis zu 2 Fuss unter der Oberfläche der Erde herabgeführt, dort aber in einer zur Mauer senkrechten Richtung von ihr entfernt, und in einen Brunnen oder in einen in der Nähe befindlichen feuchten Ort geführt. Ist ein solcher nicht vorhanden, so lässt man in einer Entfernung von 15 bis 20 Fuss von der Mauer ein senkrechtes Loch von etwa 12 Fuss Tiefe graben und in dieses den Conductor hinabgehen. Um das unter der Erde befindliche Eisen vor Rost zu bewahren, umgibt man es mit einem hölzernen Kanal, der mit Bäckerkohlen angefüllt ist.

Nach den Erfahrungen von *Charles* schützt ein Blitzableiter alle Gegenstände rings um ihn, welche nicht weiter entfernt sind, als die doppelte Höhe desselben über ihnen beträgt. Hiernach richtet sich die Höhe, die man der Auffangstange zu geben hat, so wie die Anzahl solcher Stangen. Wenn der Boden trocken ist, in welchem sich der Blitzableiter endigt, so muss man ihn entweder tiefer gehen lassen, oder in mehrere Zweige vertheilen. Wenn an einem Gebäude beträchtliche *Massen von Metall* sind, wie z. B. bleierne Röhren, Dachrinnen u. s. w., so ist es

nützlich, sie mit dem Blitzableiter durch metallene Drähte in Verbindung zu setzen. Werden auf einem Gebäude mehrere Blitzableiter errichtet, so setzt man sie durch Drähte in Verbindung mit einander. Eben so kann man auch die Giebel und Kamine mit kleinen Auffangstangen versehen und diese durch Kupferdraht mit der Hauptauffangstange verbinden. Leitende Metallmassen im Innern des Gebäudes darf man nicht mit dem Blitzableiter in Verbindung setzen, besonders wo Gasleitungsröhren sind, auf die sonst leicht gefährliche Funken überspringen. Bei Pulvermagazinen errichtet man in der Nähe hohe Stangen mit Blitzableitern, und bei den Schiffen führt man von dem Hauptmast den Blitzableiter bis zum Kiel hinab und setzt ihn dort mit dem Kupferbeschläg in Verbindung. Die Leitstange kann in das Holz des Mastes eingelassen sein, wenn sie stark genug ist. Bei elektrischen Telegraphen macht man den Leitungsdraht, der in die Gebäude führt, dadurch unschädlich, dass man ihn mit einem Seitendraht, dem Blitzableiter, verbindet. Dieser führt in ein Gefäss mit Aether, Alkohol oder einer andern Flüssigkeit, die wohl den Blitz, aber nicht den Strom der Kette leitet. Von dem Boden dieses Gefässes führt ein Ableiter in die Erde. Die gegenüberstehenden Enden beider sind durch einen kleinen Zwischenraum getrennt, der von der Flüssigkeit ausgefüllt ist. *Snow Harris* hat gezeigt, dass Schiffe vollkommen geschützt sind, wenn die leitende Eisenstange stark genug und vollkommen in das Holz der Masten eingelassen ist.

Wenn ein Blitzableiter nicht vollkommen alle Elektrizität ableitet, so ist er eher gefährlich als nützlich. Man muss daher dafür sorgen, dass er keine Unterbrechung hat und mit dem feuchten Grund oder Horizontalwasser in vollkommener Verbindung steht. Um ihn auf den Zusammenhang zu prüfen, kann man nach *Wagner's* Vorschlag die Leitung mit einem Galvanometer in Verbindung setzen und den Strom einer *Volta*'schen Kette hindurchgehen lassen, wobei die Nadel abgelenkt werden muss.

Die Vorsichtsmassregeln, um sich vor dem Blitze zu schützen, ergeben sich nach dem Frühern von selbst. Unter Bäumen, an Thüren, Gebäuden, und in denselben an Kaminen, Fenstergittern, Glockenseilen ist der Aufenthalt bei Gewittern gefährlich. In der Nähe von Kaminen besonders auch desshalb, weil der Russ leitend ist.

Um die Dauer der Blitze zu untersuchen, welche bei starken Gewittern scheinbar ununterbrochen leuchten, beobachtete *Dove* die Flügel eines *Busolt*'schen Farbenkreisels (vgl. §. 249) in dem durch die Blitze erleuchteten Raum, und bemerkte, dass die Flügel einzeln mit bestimmten Umrissen erschienen, während sie auf dem dunkeln Grunde mit grosser Schnelligkeit hin- und herschwankten. Daraus folgt nach Seite 545, dass die anhaltenden Blitze aus einzelnen, unterschiedenen Entladungen bestehen. Zu den merkwürdigsten Erscheinungen gehören auch Blitze ohne Donner, welche man, wiewohl höchst selten, selbst im Zenith beobachtet hat.

§. 473.

Zu den elektrischen Erscheinungen der Atmosphäre gehört auch sehr wahrscheinlich das *Nordlicht.* Die Beobachtungen zeigen, dass die Strahlen, so wie die leuchtenden Kreise, aus denen es besteht, ihren gemeinschaftlichen Mittelpunkt meistens in der Richtung des magnetischen Meridians haben. Zuweilen veranlasst die Erscheinung eines Nordlichts Schwankungen von mehreren Graden, in der Richtung der Magnetnadel, wie ein elektrischer Strom, zuweilen aber auch nicht. Bemerkenswerth ist jedenfalls die grosse Aehnlichkeit des Nordlichts mit den Erscheinungen der im luftverdünnten Raume ausströmenden Elektrizität. *Dove* schliesst daraus, dass die magnetischen Pole der Erde die kältesten Punkte an ihrer Oberfläche sind, und dass die isodynamischen Linien nahezu mit den Isothermen zusammenfallen, dass die plötzlich entstehende Kälte und nicht das Nordlicht die Ursachen jener Schwankungen sei. Letzteres ist gleichfalls eine Folge der Kälte. Die Störungen der Magnetnadel werden oft schon am Tage vor dem Nordlicht bemerkt, welches *Faraday* für ein magnet-elektrisches Phänomen

hält. Der Mittelpunkt des magnetischen Erschütterungskreises ist auch kein fester, sondern er fällt bald dahin, bald dorthin, wie denn auch die Wärmevertheilung an der Oberfläche der Erde mit dem Magnetpol sich zu ändern scheint. Aus der grossen Ausdehnung des Raumes, innerhalb dessen manche Nordlichter zu gleicher Zeit gesehen worden sind, hat man auf die Höhe dieser Erscheinungen über der Oberfläche der Erde geschlossen. *Cavendisch* nimmt 15 deutsche Meilen oder eine solche Höhe an, in welcher die Dichte der Luft 1150000mal geringer ist, als an der Oberfläche der Erde. Nach *T. Chevalier* und *Ellsworth* soll diese Höhe sogar 25 bis 40 deutsche Meilen betragen.

Obgleich man die wahre Ursache des Hagels noch nicht mit Bestimmtheit angeben kann, so sehen ihn doch, seit *Volta*, immer noch Viele als eine Folge der Elektrizität der Wolken an. Wahrscheinlicher ist es, dass die erste Ursache der Hagelbildung in den kalten Luftströmen zu suchen ist, welche nach §. 471 zur Bildung der Gewitterwolken Anlass geben sollen. Da in der Höhe von 15000 bis 20000 Fuss die Temperatur der Luft sehr schnell abnimmt, so werden höhere Luftschichten gefrorene Wassertheilchen enthalten; tiefere, noch weit unter Null erkaltete Schichten aber können, wie *Dufour* nach §. 335 gefunden hat, eine Menge Wassertröpfchen enthalten, die zwar sehr kalt, aber nicht gefroren sind. Sobald nun in Folge des aufsteigenden Stromes ein Sinken der kältesten Luftschichten zur Seite desselben stattfindet, kommen die gefrornen Wassertheilchen mit den andern nur sehr kalten in Berührung. Diese erstarren dadurch augenblicklich, frieren an die ersten an und vergrössern ihr Gewicht. Auf gleiche Art wächst beim Herabfallen in die tiefere dunstreiche Atmosphäre ihr Umfang immer mehr. Die so entstandenen Hagelkörper reissen zugleich die adhärirende Luft mit sich fort und vergrössern dadurch die Macht der kalten Luftströme, welche neue Gleichgewichtsstörungen zur Folge haben. Dann muss in der Richtung, in welcher der Gegendruck am schwächsten ist, Bewegung erfolgen. Wo aber Verdichtung der Wasserdämpfe erfolgt, nimmt auch der Luftdruck ab. In sehr kalten Ländern ist die Luft nach §. 342 arm an Wasserdämpfen; daher dort kein Hagel. In den Tropenländern hagelt es nur auf den Bergen, und auch bei uns schmilzt oft der Hagel wieder, ehe er die Erde erreicht.

G. Elektrizität durch Wärme.

(Thermoëlektrizität.)

§. 474.

Wenn man mit den Enden des Drahtes von einem sehr empfindlichen Multiplicator die Enden eines Platindrahtes *cd*, Fig. 580, welcher bei *ab* spiralförmig gewunden ist, sorgfältig zusammenlöthet und den Draht bei *b* erhitzt, so findet man, nach *Becquerel*, aus der Bewegung der Magnetnadel, dass ein positiv-elektrischer Strom in der Richtung *ac* entstanden ist. Da diess nicht der Fall ist, wenn der Draht

Fig. 580.

c a b d

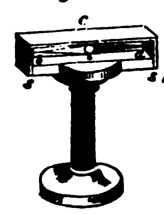
jene spiralförmige Windung nicht hat, so geht offenbar der elektrische Strom nach der Richtung, in welcher die meiste Wärme fortgepflanzt wird. Löthet man zwei spiralförmige Platindrähte an die Enden des Multiplicatordrahtes, und erhitzt man einen davon, so entsteht, wenn man ihn mit dem andern berührt, ein Strom, der vom erhitzten zum kalten Theile geht. Dasselbe ist nach *Emmet* der Fall bei Gold, Silber und Kupfer. Bei Zinn, Blei, Zink, Eisen, Antimon und Wismuth und allen durch die Hitze leicht oxydirbaren Metallen geht dagegen der positive Strom vom kalten zum erhitzten Theile. Nach *Henrici* findet bei kleinen Verschiedenheiten im Innern von Drähten aus demselben Metall bald ein Strom nach der einen, bald nach der andern Richtung statt; ebenso auch bei steigender Erwärmung. Ist der eine Draht vorher ausgeglüht, so geht der Strom von diesem zu dem ungeglühten Drahtende. *Seebeck*, dem man die Entdeckung der *thermoëlektrischen* Erscheinungen verdankt, hat beobachtet, dass in einem kreisförmigen Ringe von Wismuth oder Antimon augenblicklich ein elektrischer Strom entsteht, wenn man die eine Hälfte erkältet, während man die andere erhitzt. Als *Sturgeon* es versuchte, die Gesetze zu bestimmen, nach denen diese Ströme erfolgen, fand er, dass in einem Kegel von Antimon der Strom von der Spitze zur Basis geht, wenn man die Basis erkältet, und die entgegengesetzte Richtung hat, wenn man sie erhitzt. Auch durch Erkälten kann ein elektrischer Strom entstehen, wie *Pouillet* gefunden hat. Befestigt man an die Enden des Multiplicatordrahtes zwei Platindrähte, und erhitzt man den einen bis zum Glühen, so entsteht ein elektrischer Strom, wenn man nachher beide Platindrähte zugleich in ein Gefäss mit einer leitenden Flüssigkeit taucht.

Zu den Versuchen über die thermoëlektrischen Ströme bedarf man eines Multiplicators, dessen Draht ohngefähr $^2/_3$ Millim. dick und nur etwa 30- bis 100mal gewunden ist, weil sie wegen ihres Ursprunges keinen grossen Widerstand ertragen.

§. 475.

Viel auffallender zeigen sich diese Ströme, wenn geschlossene Kreise von zwei oder mehreren Metallen gebildet werden. *Seebeck* löthete an die Enden *a, b*, Fig. 581, eines Streifens aus Wismuth oder Antimon die Enden *ss'* eines rechtwinklicht gebogenen Kupferstreifens *scs'*, und stellte unter den letztern, im Innern des Bügels, eine sehr empfindliche Magnetnadel auf. In dem Augenblicke, wo die Löthstelle *s* erhitzt wurde, entstand ein elektrischer Strom, der von *s* durch *c* nach *s'* und von da nach *s* ging, und durch die in dem Ring angebrachte Magnetnadel angegeben wurde.. An der erhitzten Löthstelle geht also der Strom vom Wismuth zum Kupfer. Nimmt man statt Wismuth einen Streifen Antimon und Kupfer, so geht der Strom in umgekehrter Richtung.

Fig. 581.



Noch leichter kann man sich von der Richtung des Stromes überzeugen, wenn man die beiden Enden des Drahtes an einem Galvanometer mit den Enden eines Stäbchens von dem zu vergleichenden Metall berührt und die eine Berührungsstelle leicht erwärmt. Will man aber die Stärke des Stromes finden, welcher z. B. durch Berührung und Erwärmung von Platin und Eisen entsteht, so befestigt man an beiden Enden des Mul-

tiplicatordrahtes einen Platindraht, berührt mit den beiden Platindrähten die Enden eines Eisendrahtes, und erwärmt eine Berührungsstelle, während man sich wohl hüten muss, die Berührungsstellen zwischen dem Platin- und dem Multiplicatordraht zu erwärmen. Durch solche Versuche findet man, dass die Metalle sich in eine Reihe zusammenstellen lassen, in welcher sie so auf einander folgen, dass der elektrische Strom bei der Erwärmung der Verbindungsstelle zweier Metalle, sich immer *von* einem der voranstehenden Metalle, in einem der später stehenden entfernt, und dass bei gleicher Erwärmung dieser Strom um so stärker ist, je weiter die Metalle in der Reihe auseinander stehen. Diese Reihe ist: Wismuth, Nickel, Kobalt (Argentan), Messing, Blei, Platin, Zinn, Kupfer, Gold, Silber, Zink, Eisen, Antimon.

Setzt man die elektromotorische Kraft eines dieser Metalle, z. B. des Kupferdrahts, = 1, so ergibt sich die Verhältnisszahl der übrigen nach den Messungen von *A. Matthiessen* wie folgt:

Wismuth, Draht	+ 35,81	Silber, rein	0,00
Wismuth, rein gegossen	+ 32,91	Gaskohlen	— 0,06
Kalium	+ 5,49	Zink	— 0,21
Argentan, Draht	+ 5,24	Antimon, Draht	— 1,89
Nickel	+ 5,02	Eisen, Draht	— 5,22
Kobalt	+ 3,75	Antimon, rein	— 9,87
Natrium	+ 3,09	Tellur	— 179,80
Quecksilber	+ 2,52	Selen	— 290,00
Aluminium, Draht	+ 1,28		
Blei	+ 1,03		
Zinn, rein	+ 1		
Kupfer, Draht	+ 1		
Platin	+ 0,72		
Gold	+ 0,61		

Die Stellung der Metalle in dieser Reihe ist übrigens sehr abhängig von ihrer Structur; so steht in ihr harter Eisendraht höher als weicher, und nach *Thomson* geht an der Erwärmungsstelle eines zum Theil gespannten Drahtes der Strom vom nicht gespannten Ende zum gespannten.

Wenn die Temperaturen der beiden Löthstellen nur innerhalb enger Grenzen sich ändern, so ist die elektromotorische Kraft zweier Metalle der Temperaturdifferenz proportional und im andern Fall nicht. Die Differenzen obiger Zahlen aber sind von den Temperaturen unabhängig. Die elektromotorische Kraft einer Wismuth- und Kupferkette ist also z. B. 35,81 — 1, und die einer Wismuth- und Antimonkette ist = 35,81 + 9,87, oder sie ist um so grösser, je weiter, wie bei dem im §. 435 angeführten Gesetz, die beiden Metalle bei der gleichen Temperaturdifferenz in der Reihe auseinander stehen. Bei der Argentan- und Kupferkette entfernt sich also, wenn die Verbindungsstelle erwärmt wird, der Strom im Kupfer von dem Argentan; wenn sie erkältet wird, so geht er in entgegengesetzter Richtung. Wenn die Metalle nicht rein sind, so ändern sie ihre Stelle in dieser Reihe. Die elektromotorische Kraft dieser Ketten ist gering. Setzt man z. B. die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes = 1, so ist die der Wismuth-Kupferkette = $\frac{1}{95}$. *Becquerel* hat bewiesen, dass keine chemische Ein*wirkung* diese Ströme veranlassen kann, und dass die Stärke derselben

zwar vielen Veränderungen unterworfen ist, aber innerhalb gewisser Grenzen proportional bleibt; auch ist sie, bei einer Temperatur von weniger als 50°, unabhängig von der Länge und dem Durchmesser des Drahtes, welcher ihre Enden verbindet. *Nobili* fand, dass auch durch andere Körper thermoëlektrische Ströme entstehen. Er nahm z. B. zwei Thoncylinder von 3 Zoll Länge und 6 Linien Durchmesser, und umgab das eine Ende eines jeden mit Baumwolle, die in eine leitende Flüssigkeit getaucht war, um den Multiplicatordraht damit in innigere Berührung zu bringen. Als das zugespitzte Ende des einen Cylinders bis zum Rothglühen erhitzt war, drückte er es an das kalte Ende des andern, und fand nun, dass ein Strom vom warmen Ende zum kalten ging. Nach *Th. Andrews* Versuchen entsteht auch ein elektrischer Strom, wenn man ein geschmolzenes Salz, welches die Elektrizität leitet, z. B. Borax, mit zwei Metallplatten von verschiedener Temperatur in Berührung bringt. Dieser Strom ist viel stärker als der gewöhnliche thermoëlektrische Strom, und geht, wenn keine chemische Einwirkung stattfindet, immer vom heissern Metall durch das geschmolzene Salz zum kältern. Auch kaltes und warmes Wasser im Contact erzeugen einen elektrischen Strom, der vom warmen Wasser zum kalten geht. Zusammengesetzte Körper bilden überhaupt mit andern gleichfalls thermoëlektrische Ketten, wie *Andrews* für Platin und feurig flüssige Salze, *Buff* für Platina und glühende Gase, und *H. Wild* für wässerige Lösungen von Salzen, Säuren und Alkalien bewiesen hat.

Nach *Frankenheim* entsteht der Strom eigentlich nicht durch die Erwärmung oder Erkältung der Berührungsstelle zweier verschiedener Metalle, sondern die Aenderung in der Temperatur beseitigt nur ein Hinderniss, welches die Wahrnehmung der schon vorhandenen Ströme erschwert.

Wenn man Antimon und Wismuth mit den Fingern an den Faden eines Galvanometerdrahtes drückt, und erstere mit einander in Berührung bringt, so weicht die Magnetnadel nach einer andern Richtung aus, als wenn man sie an einander reibt, weil im ersten Fall die Berührungsstellen an den Fingern, im letzten die geriebenen Stellen wärmer sind, als die beiden Metalle.

Erman fand, dass durch Reibung der Löthstelle zweier mit einander verbundenen Metallstäbe ein elektrischer Strom entsteht, der gleiche Richtung mit dem durch Wärme entstandenen Strom hat, und dass die Richtung desselben ganz unabhängig von der Natur des reibenden Körpers ist. Damit hängt die von *Sullivan* gemachte Entdeckung zusammen, dass eine aus Messing und Eisen zusammengesetzte Saite einen Strom gibt, so lange sie tönt, wenn die Verbindungsstelle nicht an einem Knoten liegt. Wahrscheinlich wird dieser Strom durch die Reibung der Atome erzeugt. Noch deutlicher ist dieser Strom bei einem Stab aus Wismuth und Antimon.

§. 476.

Dass umgekehrt auch elektrische Ströme in Leitern Wärme erregen, ist schon früher gezeigt worden. *Peltier* hat aber gefunden, dass ein Strom, welcher durch einen Leiter geht, der aus verschiedenen Metallen zusammengesetzt ist, bald Wärme, bald Kälte hervorbringen kann. Er erhielt stets die grösste Temperatur-Erhöhung da, wo ein negativer Strom von einem guten Elektrizitätsleiter zu einem schlechten überging, z. B. vom Kupfer zum Zink, und die niedrigste durch den positiven Strom. Als er aber zwei Stäbe von Wismuth und Antimon zusammen-

löthete, sank die Temperatur der Luft an der Löthstelle, wenn der positive Strom vom ersten Metall zum zweiten ging, und stieg im entgegengesetzten Fall. Man kann diesen Versuch leicht anstellen, wenn man die aneinander gelötheten Stäbchen *W* und *A*, Fig. 582, in einer tubulirten Glaskugel so befestigt, dass sie auf beiden Seiten daraus hervorragen und luftdicht eingeschlossen sind. In die untere Seite dieser Glaskugel ist eine Thermometerröhre *bb* eingekittet, welche etwas gefärbten Weingeist enthält, und in ein Glasfläschchen hinabreicht. Die Stäbchen *W* und *A* sind mit Klemmschrauben versehen, an welche die Polardrähte einer Kette angeschraubt werden. Geht nun der Strom von *A* nach *W*, so wird die Luft in der Kugel erwärmt und drückt den Weingeist in *bb* hinab; geht er aber von *W* nach *A*, so zieht sich die Luft in Folge der entstehenden Kälte zusammen, und der Weingeist steigt. Der Strom darf für diese Versuche nicht zu stark und nicht zu schwach sein; er wird darum, besonders damit die Kälte merklich wird, durch einen eingeschalteten Widerstandsmesser regulirt. *Lenz* hat sogar einen Wassertropfen, der schon bis 1⁰ R. erkaltet war, dadurch zum Gefrieren gebracht, dass er ihn in ein kleines Loch an der Löthstelle brachte und den Strom von *W* nach *A* leitete. Bei andern Metallen tritt die Temperatur-Veränderung an den Löthstellen viel schwächer hervor, als bei Wismuth und Antimon. Sie ist der Stromstärke proportional, die durch Erwärmung der Löthstelle entsteht, und daher gerade das Umgekehrte der im §. 475 erklärten Erscheinungen.

Fig. 582.

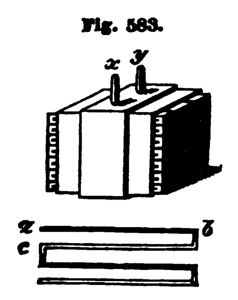
Denkt man sich, die Temperaturerhöhung, welche in dem Wismuthdraht vermöge des elektrischen Stromes entsteht, heisse t, und die an dem schlechter leitenden Antimon sei t', so muss nach dem *Joulé*'schen Gesetz, §. 448, $t' < t$ sein. Die Differenz $t' - t$ ist die Temperaturerhöhung, und diese ist wahrscheinlich eben so gross, als die Temperaturerniedrigung. Nun ist aber der Widerstand an den Berührungstellen grösser, als sonst, und daher mag die erhöhte Wärme-Entwicklung kommen.

Um die Temperatur an der Löthstelle zweier verschiedenen Metalle zu finden, bedient man sich auch des *Kreuzes* von *Peltier*. Man legt nämlich die zwei verschiedenen Metalle kreuzförmig über einander und löthet sie in der Mitte fest. Zwei nebeneinander befindliche Ecken werden nun mit dem galvanischen Strome in Verbindung gesetzt, und dieser geht also durch die Löthstelle. Sobald die Löthstelle erhitzt ist, hebt man die Verbindung mit dem galvanischen Strome auf; die beiden andern Ecken werden dagegen mit dem Galvanometer verbunden, und da nun nach dem vorigen Paragraphen vermöge der Erhitzung an der Löthstelle ein galvanischer Strom entstehen muss, so gibt die Ablenkung der Nadel des Galvanometers die Stärke desselben zu erkennen.

§. 477.

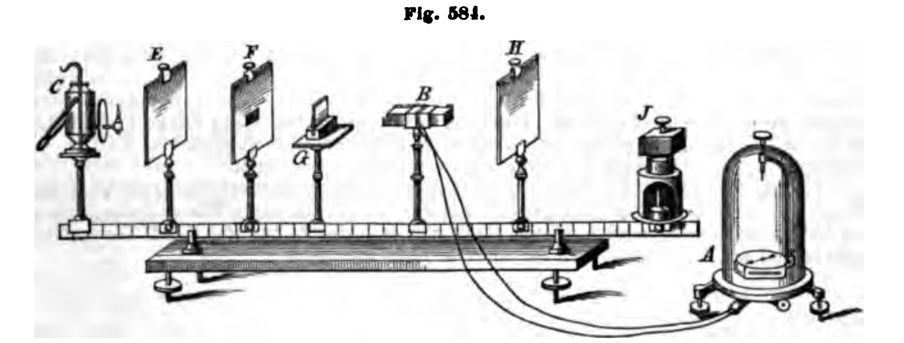
Obige Verbindung zweier Metalle zu dem Zweck einen elektrischen Strom durch Erwärmung der Löthstelle hervorzubringen, heisst eine einfache *thermoëlektrische Kette*. Eine zusammengesetzte Kette dieser Art oder eine *Thermosäule* erhält man dadurch, dass, wie in Fig. 583, an ein Antimonstäbchen *ab* ein Wismuthstäbchen *bc*, an dieses wieder ein Antimonstäbchen gelöthet wird u. s. w. Setzt man das erste Antimon- und das letzte Wismuthstäbchen mit den Enden eines Galvanometer-

Fig. 583.



drahtes in Verbindung, und erwärmt man alle Löthstellen, die auf *einer* Seite liegen, so erzeugt man an jeder einen Strom, welcher vom Wismuth zum Antimon geht, und folglich in allen Stäbchen gleiche Richtung hat. Die Intensität dieses Stromes ist also der Summe aller jener Ströme gleich, folglich der Anzahl der auf einer Seite liegenden Löthstellen proportional. Erwärmt man aber die thermoëlektrische Kette auch auf der andern Seite, so entstehen Ströme, deren Richtung der vorigen entgegengesetzt ist. Durch das Galvanometer geht also dann ein Strom, dessen Stärke nur der Differenz der auf beiden Seiten erregten Ströme entspricht. Hierauf beruht das von *Nobili* erfundene Thermoskop, welches dem *Breguet*'schen Metallthermometer und allen übrigen Werkzeugen zur Bestimmung von Temperatur-Veränderungen weit vorzuziehen ist. *Melloni* hat es wie in Fig. 584 angewandt, um die Eigenschaften der strahlenden Wärme zu untersuchen (vergl. §. 315). Der wesentlichste

Fig. 584.



Theil davon, die Thermosäule *B*, ist in Fig. 583 besonders abgebildet. Darin sind 25 bis 35 Paare kleiner Stäbchen von Wismuth und Antimon, die 32 Millim. lang, 2,5 Millim. dick und 1 Millim. breit sind, an ihren Enden abwechselnd zusammengelöthet, so dass sie eine einzige Kette von *WA WA* u. s. w. bilden. Sie sind durch Firniss oder Seide vor ihrer unmittelbaren Berührung an andern Stellen als an den Löthstellen geschützt. An das erste und letzte Stäbchen sind Kupferdrähte gelöthet, welche bei x, y durch kupferne Röhrchen hervortreten. Ein Kupfer-Ring hält die Stäbchen zusammen, und ist von ihnen durch ein Seidenband getrennt. Die Enden der Drähte x, y werden mit denen eines Galvanometers (*A* Fig. 584) in Verbindung gesetzt, dessen Nadel durch ihre Ablenkung anzeigt, wann die Temperatur der einen oder der andern Seite der Thermosäule im mindesten steigt oder sinkt. Der Multiplicatordraht muss ganz eisenfreies Kupfer sein. Um Wärmestrahlen von der Seite abzuhalten, schiebt man über jedes Ende des Büschels *B* eine metallene Röhre. Diese Röhre ist auf beiden Seiten offen, aussen metall-glänzend, und innen, so wie auch jedes Ende des Büschels, geschwärzt. Mit diesem Instrumente sind die von *Melloni* entdeckten Gesetze über die Wärmestrahlung beobachtet worden.

Um mit der thermoëlektrischen Kette starke Ströme zu erhalten, nimmt man 12 bis 20 Paare Wismuth- und Antimonstäbe von 1 Centim. Seite, und löthet diese auf obige Art aneinander. Die Zwischenräume füllt man mit Gyps aus und bringt das Ganze, wie in Fig. 585, in einen Metallring. Den untern Theil erhitzt man durch die strahlende Wärme eines glühenden Eisens, den obern erkältet man durch Eisstücke. Die Klemmschrauben *a* und *b* sind für den Leitungsdraht. Schliesst man diese Kette durch eine lange Spirale von Kupferdraht, so erhält man beim Oeffnen einen Funken, und kann auch alle übrigen Wirkungen des galvanischen Stromes damit hervorbringen.

Fig. 585.



Die thermoëlektrischen Ströme sind sehr constant, wenn die Löthstelle einer gleichförmigen Temperatur ausgesetzt bleibt, und darum zu Untersuchungen über die Leitungsgesetze sehr geeignet. Ketten von zusammengedrehten Argentan- und Eisendrähten geben eine dazu hinreichende Wirkung.

Nimmt man 2½ Millimeter dicke Platindrähte, von denen der eine mit einem andern Metalle legirt ist, und presst man sie an dem einen Ende mit einem Knoten zusammen, während die andern Enden mit dem Multiplicator in Verbindung gesetzt werden, so kann man damit die *Zunahme* der Temperatur eines Ofens beobachten; als Maass für die Temperatur selbst sind aber die thermo-elektrischen Ketten sehr unzuverlässig, wie *Regnault's* genaue Untersuchungen beweisen.

Nach *Pouillet* ist die Elektrizitätsmenge, welche erfordert wird, um 1 Gramm Wasser zu zersetzen, 13787mal grösser als die, welche in einer Wismuth-Kupferkette von 10 Meter langem und 1 Meter dickem Kupferdraht bei 100 Grad Temperatur-Unterschied an den Löthstellen in einer Minute übergeht.

§. 478.

In schlechten Leitern der Elektrizität können die durch Wärme getrennten Elektrizitäten eine Zeit lang getrennt bleiben. Die Krystalle, deren Enden nicht symmetrisch sind, haben die Eigenschaft, dass durch die Wärme die beiden Elektrizitäten in ihnen vertheilt werden. In besonders hohem Grade zeigt sie der Turmalin (Aschenzieher), welcher, in's Feuer geworfen, die Asche anzieht. *Aepinus* bemerkte zuerst seine elektrischen Eigenschaften. *Canion* fügte bald die Entdeckung hinzu, dass ein Ende desselben positiv-, das andere negativ-elektrisch wird, wenn seine Temperatur im Steigen oder im Fallen ist, und wenn er gleichförmig erhitzt wird. Beim Erkalten ändert sich die Polarität in die entgegengesetzte. Am besten bemerkt man diess, wenn man den Turmalin in einem oben offenen Glascylinder aufhängt, der auf einer Platte steht, die durch eine Weingeistlampe erhitzt wird. Oft zeigt ein Turmalin unter keiner Bedingung beide Elektrizitäten, während er diese Eigenschaft erlangt, wenn man ihn in der Mitte entzwei bricht. Nach *Gaugain* aber gibt auch ein Turmalin, dessen eines Ende mit dem Elektrometer und dessen anderes mit der Erde leitend verbunden ist, bei dem Erkalten jedesmal deutliche Zeichen von Elektrizität ab. Windet man einen mit der Erde verbundenen Draht um seine Mitte, so zeigt er — *E* an, je nachdem man das eine oder das andere Ende mit

dem Finger berührt. *Haüy* hat gefunden, dass das Ende der Krystalle, welches die meisten Facetten hat, beim Erkalten negativ wird. Nach *Erman* wird der Topas durch Temperaturänderung an den Endflächen negativ, an den Seitenflächen positiv. Der *Borazit* ist nach *Hänkel* bald positiv, bald negativ, je nachdem die Temperatur wechselt. Sehr stark elektrisch ist nach *Böttger* die erwärmte Weinsteinsäure. *Forbes* fand, dass die Schwierigkeit der Vertheilung und ihrer Wiedervereinigung sich mit der Masse des Minerals vermehrt.

§. 479.

Nach *Becquerel* erregt auch das Licht in geringem Maasse die Elektrizität. Taucht man z. B. zwei reine Platinbleche in eine Säure, und setzt man sie mit dem Multiplicator in Verbindung, während die eine Platte vom Sonnenlicht beschienen ist, so wird sie positiv-elektrisch. Die stärkste Wirkung hat das violette Licht. Da mit Oxyd bedeckte Platten viel stärker wirken, als eine blanke, so ist hier wahrscheinlich das Polarisationsvermögen der Platten mit im Spiel.

H. Elekrizität durch Haarröhrchen-Anziehung.

§. 480.

Diese Art von Elektrizitäts-Erregung ist bis jetzt nur in einem einzelnen Falle beobachtet worden. *Becquerel* nahm einen Platinlöffel und befestigte ihn an das Ende eines sehr empfindlichen Multiplicators, an das andere löthete er einen Platinschwamm. Nachdem beide mehrere Male in Salpetersäure gewaschen und nachher im Feuer getrocknet waren, füllte er den Löffel mit reiner und höchst concentrirter Salpetersäure, und als er nun den Platinschwamm in diese tauchte, wurde er negativ-elektrisch. In Salzsäure dagegen nahm er die positive Elektrizität an. Die Wärme konnte nicht Ursache dieser Erscheinung sein; denn als der Platinschwamm herausgenommen, erhitzt und wieder eingetaucht wurde, brachte er einen Strom nach entgegengesetzter Richtung hervor. In der Salpetersäure entstand einige Augenblicke, nachdem der Schwamm eingetaucht war, ein zweiter Strom in einer dem ersten entgegengesetzten Richtung, welcher sich vielleicht aus den später vorkommenden Erscheinungen über „Elektrizitäts-Erregung durch Ströme“ erklären lässt.

Inzwischen hat *Draper* mehrere Versuche angestellt, welche die Einwirkung der Elektrizität auf die Capillarität bewiesen, und es ist darum auch die umgekehrte Wirkung möglich. Bringt man z. B. etwas Quecksilber in eine U-förmige Glasröhre, die zwei ungleich weite Schenkel hat, so steht es in dem weitern höher als in dem engern. Bringt man nun in die engere Röhre einige Tropfen Wasser und berührt man es mit dem positiven Draht einer Kette, das Quecksilber in dem weitern Schenkel aber mit dem negativen Draht, so steigt das Quecksilber in der engern Röhre.

I. Elektrizität durch Druck und Spaltung.

§. 481.

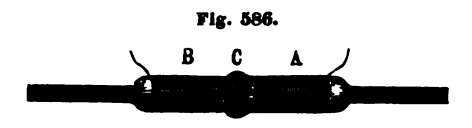
Der Druck ist die einfachste Art, Elektrizität zu erregen, wenn dabei keine Reibung stattfindet. *Aepinus* hat dieses zuerst bemerkt, indem er zwei Glasplatten aneinander drückte. Nach der Trennung waren sie entgegengesetzt-elektrisch. *Libes* presste isolirte Metallscheiben gegen ein, mit gefirnisstem Tafft überzogenes Holz, und fand sie nachher negativ-elektrisch, während sie durch Reiben positiv geworden wären. *Becquerel* fand, dass diese Eigenschaft allen Körpern zukommt. Um diess zu zeigen, bildet man aus den zu untersuchenden Körpern kleine Scheibchen von einigen Millimetern Dicke und befestigt sie an gläserne Handgriffe, mit denen man sie aneinander drückt. Nach ihrer Trennung bringt man sie dem Scheibchen der *Coulomb*'schen Drehwaage gegenüber, nachdem man es vorher elektrisch gemacht hat. Man findet dann, dass immer beide Körper entgegengesetzte Elektrizitäten besitzen, wenn einer von beiden ein schlechter Leiter ist. Am geeignetsten ist dazu eine Scheibe von Korkholz und eine von Kautschuck. Wenn man eine Korkscheibe gegen eine Orange drückt und sie schnell zurückzieht, so ist sie ziemlich stark positiv-elektrisch; zieht man sie langsam zurück, so ist sie sehr schwach oder gar nicht elektrisch. Aus diesen und ähnlichen Versuchen scheint zu folgen, dass sich die durch Druck vertheilten Elektrizitäten nach seinem Aufhören um so vollkommener wieder vereinigen, je länger sie Zeit dazu haben, und da nun in guten Leitern die Geschwindigkeit der Fortpflanzung grösser ist, so sieht man ein, warum diese bei ihrer Trennung fast unelektrisch sind. Nimmt man einen sehr trockenen Propfen von Korkholz und schneidet man ihn in der Mitte entzwei, so nehmen die wieder aneinander gedrückten Hälften entgegengesetzte Elektrizität an. Wenn dieser Versuch nicht gelingt, so darf man nur die eine Hälfte vor dem Zusammenpressen um einige Grade erwärmen, worauf sie negativ-elektrisch werden wird. Eben so ist es, wenn man zwei Kalkspathplättchen zusammendrückt; ein Beweis, dass die Wärme Einfluss auf diese Erscheinungen hat. Bei gleicher Temperatur wird *die* Hälfte des Korks negativ, deren Oberfläche am rauhesten ist. Wenn der Kalkspath glatt ist, so behält er seine Elektrizität wochenlang; macht man aber seine Oberfläche rauh, so verliert er sie sehr bald. Feuchte Körper müssen erst getrocknet werden.

Mit Hilfe eines sinnreichen Apparates hat *Becquerel* gefunden, dass bei einem Drucke von 1 bis 10 Kilogramm die Menge der entwickelten Elektrizität bei der möglichsten Schnelligkeit der Trennung dem Drucke proportional ist. Bei einem höheren Drucke wird wahrscheinlich die Menge der Elektrizität in einem geringeren Verhältnisse zunehmen, da die Zusammenpressung der Körper ihre Grenzen hat. Dass die Wärme, welche durch den Druck erzeugt wird, nicht die Ursache der bei diesen Versuchen entstandenen Elektrizität sei, folgt daraus, dass, wenn der Druck vermindert wird, der Ueberschuss an Elektrizität noch eine Zeit lang fortdauert. Die Elektrizität durch Druck ist wahrscheinlich die *Ursache* vieler Licht-Erscheinungen, z. B. des Blitzes, welchen man in

den Polar-Meeren wahrnimmt, wenn zwei Eisblöcke mit grosser Gewalt aneinander stossen und wieder zurückprallen.

Ein elektrischer Strom durch Druck entsteht auch nach *Quincke*, wenn reines Wasser, wie in Fig. 586, durch eine poröse Thonzelle *C* gepresst wird, welche in eine Glasröhre befestigt ist. *A* und *B* sind Platinbleche, die mit dem Galvanometer verbunden werden. Er fand, dass die elektromotorische Kraft ebenfalls dem angewandten Druck proportional, und dass die Richtung dieses Stromes im Wasser dieselbe ist mit der Richtung des Fliessens.

Fig. 586.



§. 482.

Wenn man im Dunkeln ein Glimmerblatt spaltet, so bemerkt man häufig ein schwaches phosphorisches Leuchten. Waren die beiden Seiten desselben an Glasstäbchen gekittet, so zeigen die getrennten Blättchen entgegengesetzte Elektrizitäten, welche um so intensiver sind, je rascher die Trennung erfolgt ist. Dieselbe Eigenschaft zeigen auch andere krystallisirte Körper, wenn sie von ihrem Krystallwasser befreit und schlechte Leiter sind. Ein Kartenblatt, welches man spaltet, besitzt sie ebenfalls, und wenn geschmolzene Borsäure beim Erkalten Risse bekommt, so entsteht an ihnen ein elektrisches Licht. Giesst man Schwefel in ein Glas, und zieht man ihn an einem isolirenden Handgriffe heraus, so ist er noch nach vielen Monaten positiv-elektrisch; ebenso Chokolade, glasige Phosphorsäure u. s. w.

Obige Versuche scheinen zu beweisen, dass, wenn man zwei Molekule von einander losreisst, das eine immer positive, das andere negative freie Elektrizität hat, und sind in so fern von grosser Wichtigkeit, weil sie es wahrscheinlich machen, dass die Molekularkraft und die Anziehung der entgegengesetzten Elektrizitäten mit einander verwandt sind.

Sehr starke negative Elektrizität durch Druck nimmt man auch bei der Fabrikation des endlosen Papiers wahr, da, wo es die Glättwalzen verlässt und stark gepresst und erhitzt worden ist.

K. Elektrizität durch elektrische Ströme.

§. 483.

Die frühesten Versuche, um durch elektrische Ströme in andern Körpern Elektrizität zu erregen, hat *Ampère* angestellt. *Faraday* gelang es aber zuerst, zu bestimmten und höchst merkwürdigen Resultaten zu gelangen. Er fand, dass, wenn dem Schliessungsdrahte einer elektrischen Batterie ein in sich geschlossener Leiter nahe steht, in diesem während der Dauer der Entladung eine Elektrizitäts-Erregung stattfindet, die er den *Nebenstrom* oder *inducirten*, auch *secundären* Strom nennt. Man erkennt sein Dasein an denselben Wirkungen, die ein gewöhnlicher Strom hervorbringt, besonders leicht aber an denen, die er auf das Galvanometer ausübt. *Henry* hat gezeigt, dass dieser secundäre Strom beim Schliessen der Kette die entgegengesetzte und beim Oeffnen derselben die gleiche Richtung mit dem primären oder inducirenden Strome

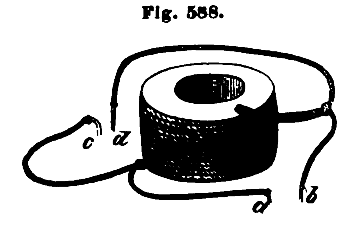
hat. Am anschaulichsten wird dieser Versuch auf die in Fig. 587 abgebildete Weise angestellt. *aa* ist ein spiralförmig gewundenes Band von Kupfer, dessen einzelne Windungen gut von einander isolirt sein müssen, durch Umwicklung mit Packpapier und Bändern. *bb* ist eine Drahtrolle aus übersponnenem und gefirnisstem Kupferdraht; beide sind durch eine Glasplatte von einander getrennt, oder es kann auch *bb* in *aa* gestellt werden. Bei *cc* sind Handhaben von Metall, die man auch mit den Enden eines Multiplicatordrahtes in Verbindung setzen kann. Berührt nun Jemand mit den Enden des Gewindes *aa* die Pole einer *Volta*'schen Kette, und hebt er diese Schliessung wieder auf, oder entladet er damit eine Leidner Flasche, während ein anderer die Handhaben angefasst hat, so erhält dieser bei hinreichender Länge des Drahtes *bb* einen Schlag.

Fig. 587.



Wird aber der Draht *bb* statt durch das Anfassen mit den Händen, durch ein Galvanometer geschlossen, so gibt dieses beim Schliessen der Kette durch das Band *aa* das Entstehen eines Stromes in dem Draht *bb* an, dessen Richtung der des Stromes in *aa* entgegengesetzt ist. Während die Kette geschlossen ist, verschwindet dieser Strom in dem Draht *bb*, und erst wenn sie geöffnet wird, zeigt sich in *bb* wieder ein Strom, der mit dem Strom in *aa* gleiche Richtung hat. *Faraday* nimmt darum an, dass sich in der Zwischenzeit, zwischen dem Schliessen und Oeffnen der Kette, der Draht *bb* in einem eigenthümlichen Zustand befinde, welchen er den *elektrotonischen* nennt. Die Wirkungen des inducirten Stromes sind denen des gewöhnlichen elektrischen Stromes in vielen Stücken gleich, und daher kann derselbe auch in einem andern Leiter wieder einen dritten Strom induciren und dieser einen vierten u. s. w. Die tertiären und quaternären Ströme wirken aber nicht mehr auf die Magnetnadel und auch nicht mehr chemisch, weil ihre Existenz zu kurz-dauernd ist, wohl aber magnetisiren sie noch eine Stahlnadel und erschüttern die Nerven. Bezeichnet man die Richtung des inducirenden Stromes mit +, so ist, beim Oeffnen des primären Stromes, die Richtung des inducirten Stromes erster Ordnung +, zweiter Ordnung —, dritter +, vierter —, fünfter + nach dem Inductions-Gesetz. Beim Schliessen ist es umgekehrt. Dass sich diess beim Magnetisiren von Stahlnadeln unbestimmt zeigt, rührt von der ungleichen Stärke der magnetisirenden Inductions-Ströme höherer Ordnungen her.

Fig. 588.



Man kann das obige Gesetz auch dadurch nachweisen, dass man zwei lange, übersponnene Drähte, wie in Fig. 588, neben einander auf eine Rolle windet, und durch die Enden *a* und *b* des einen den Strom einer *Volta*'schen Kette gehen lässt, wäh-

rend die Enden *c* und *d* des andern mit einem Galvanometer verbunden sind.

Henry erhielt mit einem inducirenden Bandgewinde, Fig. 587 *aa*, von $1^1/_2$ Zoll Breite und 93 Fuss Länge und einer Drahtrolle *bb* von 3000 Fuss Länge und $^1/_{49}$ Zoll Durchmesser, mittelst einer mässigen *Volta*'schen Kette einen inducirten Strom, der durch mehrere Personen ging, starke Schläge und Funken gab. Wenn man den inducirten Strom durch ein Blitzrad, oder wie in Fig. 587, dadurch oft unterbricht, dass man das Kupferband an einer Feile auf- und abführt, die mit dem einen Pol der *Volta*'schen Kette in Verbindung steht, so erhält man ausserordentlich starke physiologische Wirkungen.

Die wichtigsten der von *Faraday, Riess* und *Henry* über den Nebenstrom entdeckten Gesetze sind folgende: 1) Die Wirkung eines geradlinigten-inducirenden Stromes auf einen geradlinigten-parallelen Leiter nimmt mit der Entfernung beider von einander ab. 2) Die Stärke des inducirten Stromes wird nicht vermindert, wenn ein an beiden Enden offener Draht zwischen ihn und den inducirenden Draht gelegt wird, wohl aber, wenn dieser in sich geschlossen ist. 3) Die inducirende Wirkung auf mehrere Nebendrähte theilt sich unter sie und ist daher in jedem schwächer, als nur bei einem von gleicher Länge. 4) Wenn zwischen den inducirenden Draht und den Nebendraht Platten von Nichtleitern, z. B. Schellack, gebracht werden, so ist die Wirkung unverändert, wie bei demselben Abstand, wenn nur eine Luftschichte dazwischen ist. Darum ist noch nicht ausgemacht, ob auch die Inductionswirkung durch die Vermittelung dazwischen liegender Theilchen in die Ferne fortgepflanzt werde.

L. Elektrisches Leitungsvermögen.

§. 484.

Unter dem Leitungsvermögen eines Körpers versteht man sein Vermögen, den elektrischen Strom mit grösserer oder geringerer Leichtigkeit fortzupflanzen. Gewöhnlich legt man dabei das Leitungsvermögen des chemisch reinen Kupfers als Maass zu Grunde. Je besser ein Körper die Elektrizität leitet, desto weniger Widerstand setzt er einem Strome entgegen. Desshalb steht das Leitungsvermögen im umgekehrten Verhältniss mit dem Leitungswiderstand. Die Einheit, welche *Jacobi* für letzteren in Vorschlag gebracht hat, setzt aber eine bestimmte Grösse, den Widerstand eines Kupferdrahts von der in §. 465 angegebenen Länge und Dicke, voraus, während das Leitungsvermögen eines Körpers, z. B. des Eisens, nur das umgekehrte Verhältniss des Widerstandes in einem Kupferdraht zu dem in einem Eisendraht von gleicher Dicke und Länge ist.

Zur Bestimmung des Leitungsvermögens der besten Leiter, der Metalle, hat man verschiedene Methoden angewendet, von denen die sichersten in den §§. 442 bis 444 angeführt sind. *Davy* nahm verschiedene Metalldrähte von gleicher Länge und gleichem Durchmesser und suchte, wie viel Plattenpaare einer zusammengesetzten Kette jeder von ihnen vollständig zu entladen im Stande war. Um sich zu überzeugen, dass die Kette durch den Schliessungsdraht vollkommen entladen sei, befestigte er an die Pole derselben noch zwei Silberdrähte und tauchte sie in gesäuertes Wasser. Wenn nun keine Gas-Entwickelung zwischen ihnen stattfand, so schloss er, dass die Kette vollkommen entladen sei. Dieses Verfahren konnte nur sehr ungenaue Resultate geben, doch fand er schon, dass die besten Elektrizitätsleiter auch die besten Wärmeleiter

sind. *Becquerel* sen. ging von einem andern, gleichfalls von *Davy* erfundenen, aber durch ihn verbesserten Verfahren aus, weil es schwer zu erkennen ist, ob eine Kette vollständig entladen sei, und weil auch die Menge der Elektrizität nicht mit der Anzahl der Plattenpaare wächst. Er versah den Multiplicator mit zwei ganz gleichen Drähten, und wenn er nun gleichstarke Ströme in entgegengesetzter Richtung hindurch leitete, so konnte keine Wirkung auf die Magnetnadel erfolgen. Die Gleichheit solcher entgegengesetzten Ströme konnte er aber immer bewirken, indem er die Gefässe, in welche die Drähte des Multiplicators gingen, durch Leitungsdrähte aus verschiedenen Metallen mit den Polen des Trogapparates verband und den einen Leitungsdraht so lange verkürzte, bis die Magnetnadel nicht mehr abwich. War nun z. B. der Strom, welchen ein Kupferdraht von 2 Decimeter Länge durchleitete, eben so stark, als der eines andern Metalldrahtes, welcher nur 1 Decimeter lang war und denselben Durchmesser hatte, so musste nach dem obigen Gesetze der Kupferdraht das doppelte Leitungsvermögen haben. Bei solchen Versuchen kommt es sehr auf die Reinheit des Metalles an; denn *Pouillet* versichert, dass z. B. das Leitungsvermögen des reinen Goldes nach seinen Versuchen fast 6mal grösser als das des 18karätigen sei. *Pouillet* wendet den constanten Strom einer thermoëlektrischen Kette, *Harris* und *Riess* die durch elektrische Ströme erzeugte freie Wärme und *Lenz* die Intensität des durch Induction entstandenen Stromes an, um das Leitungsvermögen der Metalle zu bestimmen. *Becquerel* jun. bediente sich desselben Galvanometers, wie sein Vater, nur schaltete er in den einen Draht des Galvanometers den in §. 444 beschriebenen Rheostat von *Wheatstone*, in den andern das zu untersuchende Metall ein. Aus der Vergleichung der Widerstände des Rheostats und der eingeschalteten Drähte ergab sich das Verhältniss der verschiedenen Leitungsvermögen. Endlich gründen sich die neuern Messungen von *Buff* auf das von *Wheatstone* für die Untersuchung der Widerstände angegebene und in §. 444 erläuterte Verfahren. Alle diese Untersuchungen haben folgende, zum Theil schon früher erwähnten Gesetze bestätigt: 1) Die Leitungsfähigkeit eines Metalldrahtes steht im verkehrten Verhältniss seiner Länge und im geraden der Fläche seines Querschnitts und richtet sich also (wie die Vertheilung) nach der Masse und nicht nach der Oberfläche, und 2) sind die Metalle ohne Vergleich bessere Leiter als die Flüssigkeiten. 3) Wird das Leitungsvermögen der Metalle durch Temperaturerhöhung vermindert, aber nicht in gleichem Verhältniss mit der Temperaturzunahme. 4) Das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten dagegen wird durch Wärme-Zunahme vermehrt. Nach neueren Untersuchungen von *Wiedemann* und *Franz* besitzen die Metalle für die Wärme nahezu dasselbe Leitungsvermögen, wie für Elektrizität. *Wartmann* hat es wahrscheinlich gemacht, dass sie bei starkem Druck, also in der Tiefe des Meeres, schlechter leiten als bei gewöhnlichem Druck.

Setzt man das Leitungsvermögen des Kupfers gleich 100, so wird das der übrigen Körper nach den angeführten Versuchen durch folgende Zahlen ausgedrückt:

	Riess.	*Lenz.*		*Becquerel* jr.	*Buff.*
	Bei gewöhnl. Temp.	Bei 0°	Bei 100°	Bei 13°	
Silber . . .	148,7	136,2	94,4	109,4 geglüht	105
Kupfer . . .	100	100	73,0	100 „	100
Gold	88,8	79,8	65,2	71,6 „	—
Messing . . .	27,7	29,3	24,8	—	—
Palladium . .	18,2	—	—	—	—
Eisen . . .	17,6	17,7	10,9	13,3	—
Platin . . .	15,5	14,2	10,9	8,7	—
Zinn	14,7	30,8	20,4	14,9	—
Nickel . . .	13,1	—	—	—	—
Blei	10,3	14,6	9,6	9	—
Argentan . .	11,2	—	—	—	8,4
Wismuth . .	—	2,58	—	—	—
Antimon . . .	—	8,87	—	—	—
Quecksilber . .	—	4,66	—	—	—

Indem Kupfer selbst im reinen Zustand ein anderes Leitungsvermögen besitzt, wenn es weich, als wenn es hart ist und nur schwer rein zu erhalten ist, hat W. Siemens statt des *Jacobi*'schen Etalons als Maass für die Leitungsfähigkeit eine Quecksilbersäule, die in einem Glasrohr eingeschlossen ist, 1 □ Millimeter Querschnitt und 1 Meter Länge hat, vorgeschlagen. Setzt man die Leitungsfähigkeit dieser Quecksilbersäule bei $0^0 = 1$, so ist sie bei t Grad für folgende Metalle nach Arndtsen und Siemens:

Quecksilber . . .	$= 1$	$: (1 + 0{,}00095\,t)$
Blei	$= 5{,}1554$	$: (1 + 0{,}00376\,t)$
Platin	$= 8{,}257$	$: (1 + 0{,}00376\,t)$
Eisen	$= 8{,}3401$	$: (1 + 0{,}00413\,t + 0{,}00000527\,t^2)$
Neusilber	$= 10{,}532$	$: (1 + 0{,}000387\,t - 0{,}000000557\,t^2)$
Neusilber, geglüht	$= 4{,}137$	
Messing, hart . .	$= 11{,}439$	
Messing, geglüht	$= 14{,}249$	$: (1 + 0{,}00166\,t - 0{,}00000203\,t^2)$
Aluminium . . .	$= 31{,}726$	$: (1 + 0{,}003638\,t)$
Kupfer, geglüht .	$= 55{,}253$	$: (1 + 0{,}00368\,t)$
Kupfer, hart . .	$= 52{,}207$	
Silber, hart . . .	$= 56{,}252$	$: (1 + 0{,}003414\,t)$
Silber, geglüht .	$= 64{,}38.$	

Nach *Matthiessen*, der auch über das Leitungsvermögen der Legirungen viele Messungen angestellt hat, ist ferner das von Natrium 37, Aluminium 34, Magnesium 25, Calcium 22, Kalium 21, Lithium 19, Graphit 0,05, Gaskohle 0,04, wenn das vom Silber = 100 gesetzt wird.

Die grossen Unterschiede von obigen Zahlen rühren zum Theil von der ungleichen Reinheit der Metalle, zum Theil aber auch von dem Molekularzustand derselben her. So ist z. B. nach *E. Becquerel* das Leitungsvermögen des gehärteten Kupfers nur 97,4. Nach *Peltier* und *Knoblauch* soll auch das Leitungsvermögen der Kupfer- und Messingdrähte, welche häufig bei elektrischen Leitungen gebraucht werden, wie z. B. bei den elektromagnetischen Telegraphen, sich vermindern.

Aus dem geringen Leitungsvermögen eines Metalles entsteht der *Leitungswiderstand*. Dieser ist um so geringer, je grösser das Leitungsvermögen ist. Wenn man ihn also für Kupfer = $^1/_{100}$ setzt und dabei die von *Lenz* oben angegebenen Leitungsvermögen zu Grunde legt, so ist er für Platina $\frac{1}{14{,}2}$, für einen 25 Zoll langen Kupferdraht ist er also $^{25}/_{100} = {}^1/_4$, und für einen 3,55 Zoll langen Platindraht von gleicher Dicke $= \frac{3{,}55}{14{,}2} = {}^1/_4$, folglich eben so gross. Beide müssen also einen elektrischen Strom gleichgut leiten.

Nach der *Jacobi*'schen Widerstands-Einheit, welche gleich ist dem Widerstand in Kupferdraht von 7620 Millim. Länge, $^2/_3$ Millim. Dicke, wäre der Widerstand in einem Kupferdraht von 1 Millim. Länge und 1 Millim. Dicke $\frac{^4/_9}{7620} = \frac{1}{17145}$, folglich wäre in einem Kupferdraht von 1 Meter Länge und 1 Millim. Querschnitt der Wi-

derstand $= \frac{1000}{17145} = \frac{1}{17,145}$. Weil nach *Lenz* in obiger Tabelle das Leitungsvermögen im Eisen $\frac{17,7}{100}$ von dem Kupfer ist, so wäre in einem Eisendraht von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Dicke der Widerstand

$$= \frac{100}{17,7} \times \frac{1}{17,145}.$$

Man sieht aus diesem Beispiele, wie man obige Tabellen benützen könnte, um in der Praxis die Widerstände bei gegebenen Dimensionen der Leitungsdrähte zu berechnen. Wegen der grossen Verschiedenheit des Widerstandes in dem oft fast gleichartigen Material ist es aber besser, diesen jedesmal direct zu bestimmen.

§. 485.

Ueber das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten haben *Marianini*, *Pfaff* und *Förstemann*, und in neuerer Zeit *Hankel*, *Horsford*, *Becquerel* jun. und Andere Versuche angestellt, aus denen sich im Allgemeinen ergibt, dass die Säuren das stärkste, und Auflösungen von Alkalien und neutralen Salzen ein schwaches Leitungsvermögen haben. In Salzauflösungen wächst dasselbe aber nicht in gleichem Verhältniss mit der Menge des aufgelösten Salzes, weil dadurch wahrscheinlich die Beweglichkeit der Theilchen eben so vermindert wird, wie sie bei höherer Temperatur in den Flüssigkeiten zunimmt.

Wie gering das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten ist, sieht man daran, dass z. B. nach *Horsford's* sorgfältigen Messungen eine Lösung von 1 Gran Kochsalz in 100 Gran Wasser 2750000mal schlechter leitet als Argentan. Da dieses 11,2mal schlechter leitet als Kupfer, so ist also das Leitungsvermögen jener Lösung 31 millionen-mal schlechter als das des Kupfers. Das Leitungsvermögen des Wassers ist wahrscheinlich noch mehrere hundertmal geringer, und aus dieser Ursache schwer zu bestimmen.

Das Verfahren von *Marianini* bestand darin, dass er eine einfache Kette, die durch einen Multiplicator geschlossen war, in die zu untersuchenden Flüssigkeiten tauchte und nach der Ablenkung der Magnetnadel ihr relatives Leitungsvermögen bestimmte. Man sieht leicht ein, dass hier der chemische Einfluss der Flüssigkeiten auf die Metallplatten und, wie *Fechner* bemerkte, der Widerstand des Uebergangs oder der Polarisation nicht berücksichtigt ist, und dass also die erhaltenen Resultate nicht befriedigend sind.

Horsford wandte zur Bestimmung des Leitungsvermögens der Flüssigkeiten einen viereckigen Trog an, in welchen er Platinplatten von gleicher Grösse mit dem Querschnitt des Trogs in paralleler Lage tauchte. Die Stromstärke wurde in verschiedenen Abständen durch die Tangentenboussole gemessen und durch den *Wheatstone*'schen Rheostat in bestimmten Höhen unverändert erhalten. War also z. B. der erste Abstand der Platten 2,5 Centim., und mit Hilfe des Rheostats die Magnetnadel auf 45° gebracht, so konnte durch Entfernung der Platten und Verminderung des Widerstands im Rheostat die Nadel wieder auf 45° gestellt werden. Die Drahtlänge, um welche der Widerstand im Rheostat vermindert werden muss, gab alsdann den Widerstand der grösseren Flüssigkeitsschichte unabhängig von der Polarisation an. Er fand, dass, wenn man den *Widerstand* des *Neusilbers gleich* 1 setzt, der Widerstand nachstehender Flüssigkeiten bei 18 bis 20° R. durch folgende Zahlen ausgedrückt wird:

Schwefelsäure von 1,1 Dichte	75673
„ „ 1,2 „	56180
„ „ 1,3 „	66180
„ „ 1,4 „	82520
Kupfervitriollösung 1,51 Gr. in 100 Gr. Wasser	972320
„ 7,5 Gr. in 100 Gr. „ .	1410200

Zinkvitriollösung	7,28 Gr. in 100 Gr.	Wasser	1896000
Kochsalzlösung	5,5 Gr. in 100 Gr.	„ .	577100
„	4,26 Gr. in 100 Gr.	„ .	769460
Chlorzinklösung	4,26 Gr. in 100 Gr.	„ .	1092500

Obgleich das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten so gering ist, so kann dasselbe durch Vergrösserung des Querschnitts dem eines Kupferdrahtes wieder gleich gemacht werden. Angenommen, das Wasser leite 4000 Millionen mal schlechter als Kupfer, so müsste der Querschnitt 4000 Millionen mal grösser sein, als der eines gleichlangen Kupferdrahtes, um eben so gut zu leiten.

Wie das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten wächst, wenn die Temperatur zunimmt, kann man an folgendem Beispiel sehen: *Becquerel* jun. fand, dass, wenn man das Leitungsvermögen einer concentrirten Kupfervitriollösung bei 14,4° C. gleich 100 setzt, dasselbe bei 56° gleich 219, also mehr als das Doppelte wird. Diese Vermehrung beträgt nach *Henrici* bei dem Wachsthum niederer Temperaturen viel mehr, als bei gleicher Zunahme höherer Temperaturen.

Nach *Pouillet* ist der Leitungswiderstand des menschlichen Körpers, wenn beide Hände befeuchtet in Quecksilber getaucht werden, dem eines Kupferdrahtes von 1 Millimeter Dicke und 50000 Meter Länge gleich.

§. 486.

Faraday hat gefunden, dass viele leicht schmelzbare Körper im festen Zustande Nichtleiter und im geschmolzenen, Leiter der *Volta*'schen Elektrizität sind. In besonders hohem Grade besitzt diese Eigenschaft das Eis, Chlorblei, Chlorsilber, Pottasche, Natron, Glaubersalz, Borax etc. Mit dem erlangten Leitungsvermögen fängt auch in den meisten Fällen die Elektrolysirung an. Ueberhaupt sind alle Körper aber Elektrolyten, welche durch Erwärmung an Leitungsfähigkeit zunehmen. Für Elektrizität von hoher Intensität, wie die der Elektrisirmaschine, sind Eis und dergleichen Körper doch wieder schwache Leiter. Ueber die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes in Körpern von verschiedenen Leitungsvermögen besteht die Vermuthung, dass sie mit letzterem im Zusammenhang stehe. Vergl. §. 421.

Die positive Elektrizität scheint durch Wasser, Luft und manche andere Körper leichter fortzuströmen, als die negative Elektrizität. Andere Körper scheinen von der negativen Elektrizität leichter durchdrungen zu werden, als von der positiven. Als Beweis führt man hier gewöhnlich *Tremery's* Versuch mit einem Kartenblatte an, welches zwischen zwei parallele, aber nicht gerade gegenüberstehende Drähte in senkrechter Lage so befestigt wird, dass beim Entladen einer Leidner Flasche der elektrische Funke es durchbohren muss, indem der Funke stets auf der positiven Seite längs dem Kartenblatte fortgeht (wie man im Dunkeln sehen kann) und erst dem negativen Drahte gegenüber durchbricht. Im luftleeren Raume durchbohrt er das Kartenblatt in der Mitte zwischen zwei Drähten.

Hierauf gründet sich wahrscheinlich auch die Entdeckung, welche *Erman* mit Hilfe des Elektroskopes machte, dass gewisse Körper nur eine Art von Elektrizität einer Säule vollkommen ableiten, und die er daher *unipolare Leiter* nennt. Die positive Elektrizität der Säule wird nämlich schlecht geleitet durch trockene Seife, Bleiweiss und die Flamme des Phosphors, und die negative durch die Flamme von Alkohol, Wasserstoffgas, Wachs und Oel. Nach *Ohm* ist die Ursache der unipolaren Erscheinungen nicht ursprünglich in den Körpern vorhanden, sondern

sie wird erst nach dem Schliessen der Kette durch den elektrischen Strom in dem unipolaren Körper erzeugt. An dem einen oder dem andern Pole scheidet sich nämlich ein schlecht leitender Ueberzug durch chemische Zersetzung aus, welcher eine Schwächung der Kette bis zu dem Grade zur Folge hat, dass eine fernere Zersetzung nicht mehr stattfinden kann.

X. Abschnitt.

Elektrodynamik.

A. Allgemeine Einleitung.

§. 487.

Unter der *Elektrodynamik* versteht man die Gesetze der Elektrizität im Zustande der Bewegung, oder die Wirkungen der elektrischen Ströme auf einander selbst und auf den Magnetismus, sowie die des Magnetismus auf die elektrischen Ströme, während man unter der *Elektrostatik* die Gesetze der Elektrizität im Zustande der Ruhe versteht. Der letztere Theil der Elektrizitäts-Lehre wurde im vorigen Abschnitte in Verbindung mit mehreren Theilen der Elektrodynamik gelehrt, weil man des Zusammenhanges wegen eine scharfe Trennung beider Theile nicht vornehmen wollte.

Um die öftere Wiederholung der Worte: elektropositiver und negativer Strom zu vermeiden, ist man übereingekommen, auch hier mit dem Worte „elektrischer Strom" überhaupt den Strom zu bezeichnen, welcher vom positiven zum negativen Pole einer einfachen oder zusammengesetzten Kette geht. Zu den meisten Versuchen bedarf man nur einer *Grove'*schen oder *Bunsen'*schen Kette von 2 bis 3 Elementen. Zu Leitern der Ströme nimmt man gewöhnlich Kupferdrähte. Wenn diese geradlinig oder krummlinig, oder in sich selbst zurückkehrend sind, so heissen die sie durchlaufenden Ströme geradlinig, krummlinig oder geschlossen. Die metallische Verbindung zwischen den Leitern und den Polen der Kette muss so vollkommen als möglich sein. Zu diesem Ende werden an den Verbindungsstellen kleine metallene, mit Quecksilber angefüllte Schälchen oder Klemmschrauben angebracht, welche, so wie die Drahtenden, vor dem Gebrauche jedesmal durch Reiben von allem Oxyd befreit werden.

B. Wirkung der elektrischen Ströme auf einander.

§. 488.

Die Wirkung des elektrischen Stromes auf einen andern hat zuerst *Ampère* ergründet. Die Versuche, aus denen er ein allgemein giltiges Gesetz ableitete, waren zwar nicht genau, die spätern und hauptsächlich die von *W. Weber* angestellten Messungen aber beweisen die vollkom-

mene Uebereinstimmung dieses Gesetzes mit der Erfahrung. Ueberdiess ist es diesem Naturforscher gelungen, den Zusammenhang zwischen dem Gesetze der statischen und dem der dynamischen Elektrizität nachzuweisen, wie unten gezeigt werden wird. Sowohl aus dem Ampère'schen wie aus dem Weber'schen Gesetze folgen alle nachstehenden Lehrsätze und zwar hier so auf einander, dass man ihre Wahrheit auch ohne Rechnung mittelst der Versuche allein einsehen kann. Der erste Lehrsatz ist: *Zwei parallele Ströme ab und cd*, Fig. 589, *ziehen sich an, wenn sie nach einerlei Richtung gehen, und stossen sich ab, wenn sie, wie die Ströme ef und gh, entgegengesetzte Richtungen haben.* Die Stärke der Anziehung oder Abstossung ist dem Produkt der beiden auf einander wirkenden Stromstärken und der Länge der Drähte direct, dem Quadrate ihres Abstandes aber verkehrt proportional.

Fig. 589.

Zur Bestätigung dieses Satzes und einer Menge anderer dient das in Fig. 590 abgebildete Gestell, welches eine Abänderung des Ampère'schen Gestelles ist. Auf das mit Stellschrauben versehene Brett AF kann eine hohle messingene Säule ab geschraubt werden, in welcher sich ein starker Kupferdraht befindet. Dieser Draht ist durch Holz oder Elfenbein von ihr getrennt, und berührt unten den Kupferstreifen cd, welcher unter dem Brett, in seiner Mitte so fest gemacht ist, dass er an den Enden sich federt. Auf die Säule ab kann mit Bajonett-Verschluss das messingene Capitälchen m befestigt werden, durch welches der mittelst Elfenbein isolirte Draht h geht. Dieser Draht berührt alsdann den im Innern der Säule befindlichen Kupferdraht, während der Draht g mit dem Capitälchen m und der Säule ab in leitender Verbindung steht. Die Drähte g und h endigen sich in die metallenen Schälchen z und x. Am Boden des obern Schälchens ist ein Glasplättchen angekittet. In diese Schälchen werden leichte Leiter, wie der in Fig. 591 abgebildete, aus 1 Millimeter dickem Kupferdraht aufgehängt. Dieser Leiter hat am obern Ende eine Stahlspitze x, welche auf dem Glasplättchen ruht, und lässt sich um diese leicht drehen. Das andere Ende ist umgebogen und reicht in das Schälchen z hinab. In beide Schälchen kommt ein wenig Quecksilber. Bei r und s sind Klemmschrauben. Diese Klemmschrauben stehen durch Kupferdrähte mit den

Fig. 590.

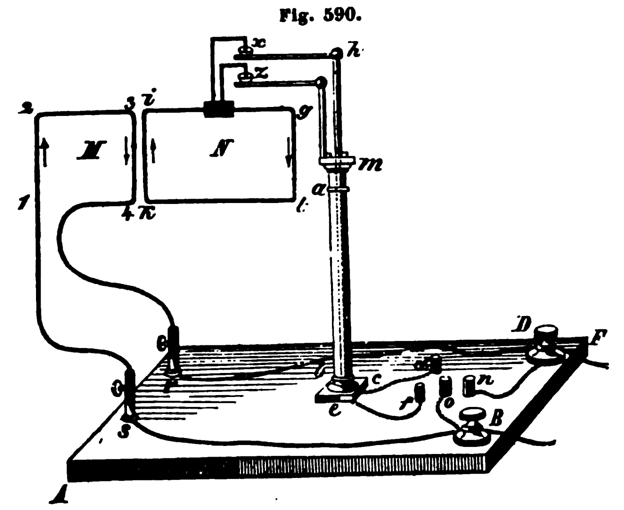
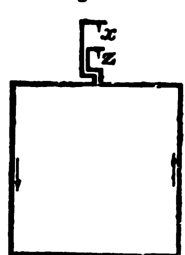


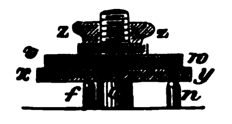
Fig. 591.



Klemmschrauben *B* und *D* in Verbindung. Letztere dienen zum Befestigen der Polardrähte. Von *B* geht ein Draht nach dem Zapfen *o* und von *D* nach *n*. Durch eine Vorrichtung, die man den *Commutator* nennt, kann der Strom, welcher von dem Kupfer einer Kette z. B. nach *B* und von da nach *o* geleitet wird, von *o* bald nach dem Kupferstreifen *fe*, bald nach dem Streifen *dc* geleitet werden. Geht er von *f* nach *e*, so steigt er in der Säule *ab* aufwärts, geht durch *g* nach *z*, und in dem Leiter *N* in der Richtung der Pfeile nach *x*. Von da durch *h* in dem innern Kupferdraht herab zu dem Streifen *cd* und von da nach *n*. Von *n* geht er nach *D* und von da zum Zink. Die Enden der horizontalen Kupferstreifen, welche in *f*, *d* und *n* senkrecht aus dem Brett hervorragen, sind rund und etwa ¼ Zoll hoch. Sie lassen sich hinabdrücken, gehen aber, vermöge der Elastizität der Kupferstreifen, sogleich wieder in die Höhe. Der Zapfen *o* in der Mitte, welcher konisch und oben mit einem Gewinde versehen ist, dient zur Aufnahme des *Commutators*, der in Fig. 592 in Grund- und Aufriss abgebildet ist. An das Holzscheibchen *vw* ist eine Kupferscheibe *xy* befestigt. Letztere ruht auf den drei senkrechten Leitern *f*, *d* und *n* in Fig. 590, und wird durch eine Schraube *zz*, Fig. 592, dagegen gedrückt. Die Kupferscheibe besteht aus zwei Theilen, wie der Grundriss zeigt, die durch Holz oder Elfenbein von einander isolirt sind. Der innere schraffirte Theil hat in der Mitte ein Loch, welches auf den metallenen Zapfen *o* in Fig. 590 passt, und mit diesem also in leitender Verbindung steht. Ruht der innere Theil auf dem Draht *f* in Fig. 590, so geht der Strom in der oben angegebenen Weise von *o* nach *fe*. Dreht man aber den *Commutator* um 120° rechts, so geht der Strom von *B* nach dem Zapfen *o*, von da nach *d* und *c* im Innern der Säule hinauf, durchläuft den Leiter *N* in der den Pfeilen entgegengesetzten Richtung, geht aussen in der Säule herab, durch *ef* und durch den ringförmigen Theil des Commutators nach *n* und von da nach *D*. Will man den Strom unterbrechen, so dreht man den Commutator so, dass der innere Theil *of* desselben zwischen *f* und *d*, Fig. 590, in der Mitte steht.

Fig. 592.





Um die Wirkung zweier Ströme auf einander zu erfahren, befestigt man in *s* und *r*, Fig. 590, die Enden eines einfachen oder mehrfach gewundenen Leiters *M*, stellt, aus Ursachen, die später vorkommen werden, die Seite *AB* des Bretts in die Richtung von Ost nach West und leitet den Strom, welcher bei *B* eintritt und sich in zwei Zweige *Bo* und *Bs* theilt, durch die Stellung des Commutators bald so, dass er in den Leitern *M* und *N* gleiche, bald so, dass er in ihnen entgegengesetzte Richtung hat.

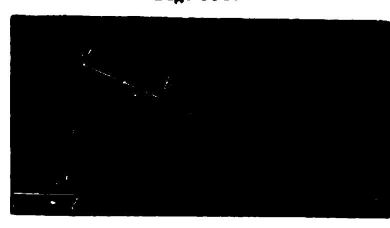
Mit einer *Grove*'schen Kette von zwei bis drei Elementen kann man diese und die nachstehenden Versuche leicht anstellen.

Wenn man eine schlaffe Spirale von Draht lothrecht aufhängt und ihre untere Spitze in ein Quecksilbergefäss tauchen lässt, so müssen nach dem Obigen die einzelnen Ringe sich anziehen, wenn ein elektrischer Strom hindurch geleitet wird;

lie Spitze geräth daher in Längenschwingungen, wobei sie abwechselnd eintaucht ınd wieder das Quecksilber verlässt.

Wenn man in Fig. 593 die Länge zweier Strom-Elemente ab und cd durch α und α', die Stromstärke in ihnen durch i und i', den Abstand ihrer Mittelpunkte durch r, ihre Neigung zur Linie r durch φ und φ' und den Winkel, den sie mit einander bilden, durch ψ bezeichnet, so ist nach *Ampère* die Kraft k, mit welcher sie sich anziehen, ausgedrückt durch die Gleichung

Fig. 593.



$$k = aa \cdot \frac{\alpha\alpha' ii'}{rr} \left(\cos\psi - \frac{3}{2}\cos\varphi\cos\varphi'\right),$$

worin aa einen constanten Coëfficienten bezeichnet und i und i' mit entgegengesetzten Zeichen + und − genommen werden müssen, wenn sie nicht gleiche Richtung haben. Für den oben angeführten Fall, wo ab und cd parallel sind und r zu beiden senkrecht ist, wird $\psi = o$ und $\varphi = \varphi' = 90^{0}$, folglich $k = aa \frac{\alpha\alpha' ii'}{rr}$; es erfolgt also Anziehung, wenn i und i' gleiche Richtung haben, und Abstossung im andern Fall.

Nach *W. Weber* muss die gegenseitige Wirkung der Stromtheilchen auf einander abhängig sein 1) von dem Gesetze der Anziehung und Abstossung, 2) von der relativen Geschwindigkeit der auf einander wirkenden Stromtheilchen, und 3) von der beschleunigenden Wirkung, die sie durch ihre Wechselwirkung auf einander ausüben. Die Annahmen 2 und 3 werden zwar zur Erklärung der Gravitations-Erscheinungen nicht gebraucht; da sie aber zu den mit den elektrischen Erscheinungen übereinstimmenden Gesetzen führen, kann ihre Möglichkeit nicht bestritten werden. Zudem hat *Weber* durch seine Messungen mit dem Elektrodynamometer erst eine höchst vollständige Bestätigung der Ampère'schen Theorie geliefert. Nennt man also die in der Längen-Einheit angehäufte Elektrizitätsmenge e, so ist die in dem Stromtheil α angehäufte Elektrizitätsmenge $= \alpha e$; eben so sei die in α' angehäufte Elektrizitätsmenge $= \alpha' e'$, so ist die gegenseitige Abstossung von $+ \alpha e$ und $+ \alpha' e' = \frac{\alpha\alpha'\, ee'}{rr}$ oder ihre Anziehung $= - \frac{\alpha\alpha'\, ee'}{rr}$; eben so gross ist die von $- \alpha e$ und $- \alpha' e'$; wenn aber die Theilchen e und e' eine relative Geschwindigkeit v haben und ihre Wirkung auf einander eine relative Beschleunigung g zur Folge hat, so wird die Anziehung der Theilchen αe und $\alpha' e'$ nach *W. Webers* Untersuchung in der Weise modifizirt, dass sie durch

$$k = - \frac{\alpha\alpha'\, ee'}{rr}\left(1 - pv^2 + bg\right)$$

ausgedrückt werden kann. Dieses Gesetz gilt ganz allgemein und vertritt vollkommen die Stelle der *Ampère'*schen Formel, wenn man jedesmal darnach die vier Wirkungen

1) von $+ \alpha e$ auf $+ \alpha' e'$
2) „ $- \alpha e$ auf $- \alpha' e'$
3) „ $+ \alpha e$ auf $- \alpha' e'$
4) „ $- \alpha e$ auf $+ \alpha' e'$

richtig bestimmt und addirt.

In dem obigen Fall und Fig. 594 gehen bei A und A' die positiven Stromtheilchen rechts mit der Geschwindigkeit u und eben so gehen bei A und A' die negativen Stromtheilchen links. $+ \alpha e$ und $+ \alpha' e'$ haben darum keine relative Geschwindigkeit, eben so wenig $- \alpha e$ und $- \alpha' e'$. Zwischen $+ \alpha e$ und $- \alpha' e'$ findet vor dem Eintreffen in A und A' Annäherung, nachher Entfernung, also auch keine relative Geschwindigkeit statt. Mithin ist hier für alle vier Fälle $v = o$. Während aber $+ e$ in A und $- e'$ in A' mit der Geschwindigkeit u ankommen und sich nach den Tangenten eines um die Mitte gezogenen Kreises bewegen, ziehen sie sich an und suchen sich zu nähern. Die Beschleunigung des $+ \alpha e$ nach der Mitte von r, die dadurch

Fig. 594.



entsteht, sei g', so ist der Zusammenhang zwischen dieser und der Geschwindigkeit u und dem Abstand $\frac{r}{2}$ von der Mitte nach §. 92 ausgedrückt durch $g' = \frac{2uu}{r}$, eben so gross ist die Beschleunigung von $-\alpha' e'$ gegen die Mitte von r. Desshalb ist die relative Beschleunigung von $+\alpha e$ gegen $-\alpha' e'$ doppelt so gross, oder $g = \frac{4uu}{r}$, eben so gross ist die von $-\alpha e$ gegen $+\alpha' e'$, und man hat also für die oben angegebenen vier Fälle, die Anziehung

$$\text{für } 1) \quad -\frac{\alpha\alpha' ee'}{rr}$$

$$2) \quad -\frac{\alpha\alpha' ee'}{rr}$$

$$3) \quad +\frac{\alpha\alpha' ee'}{rr}\left(1 + b \,.\, \frac{4uu}{r}\right)$$

$$4) \quad +\frac{\alpha\alpha' ee'}{rr}\left(1 + b \,.\, \frac{4uu}{r}\right)$$

oder die Gesammtwirkung ist

$$\frac{\alpha\alpha' ee'}{rr} \,.\, 2b \,.\, \frac{4uu}{r};$$

es erfolgt also Anziehung, wenn die Stromtheile gleiche Richtung haben.

Hat aber $+\alpha e$ und $+\alpha' e'$ entgegengesetzte Richtung, so wirken $+\alpha e$ und $+\alpha' e'$ in A und A', Fig. 595, nach der Tangente in entgegengesetzter Richtung; ihre Anziehung wird daher:

Fig. 595.

$$1) \quad -\frac{\alpha\alpha' ee'}{rr}\left(1 + b \,.\, \frac{4uu}{r}\right)$$

$$2) \quad -\frac{\alpha\alpha' ee'}{rr}\left(1 + b \,.\, \frac{4uu}{r}\right)$$

Für 3 und 4 sind die relativen Geschwindigkeiten ebenfalls Null und es erfolgt die Anziehung:

$$3) \quad +\frac{\alpha\alpha' ee'}{rr}$$

$$4) \quad +\frac{\alpha\alpha' ee'}{rr}.$$

Die Summe von allen ist also

$$-\frac{\alpha\alpha' ee'}{rr} \,.\, 2b \,.\, \frac{4uu}{r},$$

folglich die Wirkung abstossend.

Um den Zusammenhang zwischen dem *Weber*'schen und *Ampère*'schen Gesetz einzusehen, darf man nur bedenken, dass die Stromstärke i um so grösser ist, je grösser die durch einen Querschnitt des Leiters in der Zeit-Einheit gegangene Elektrizitätsmenge e und je grösser die Geschwindigkeit u ist, und dass man desshalb $i = eu$ und $i' = e'u$ setzen kann. Führt man diese Werthe in die *Ampère*'sche Formel ein, so hat man für parallele Ströme

$$\text{nach } Ampère \; k = \frac{aa \,.\, \alpha\alpha' ee' \,.\, uu}{rr}$$

$$\text{nach } Weber \; k = \frac{\alpha\alpha' ee'}{rr} \,.\, b \,.\, \frac{4uu}{r}.$$

Setzt man diese Werthe einander gleich, so findet man, dass die von *Weber* mit b bezeichnete Grösse $= \frac{aa}{8} \,.\, r$, und darum dass $bg = \frac{aa}{8} \,.\, gr$.

Fig. 596.

a b c d

Befinden sich die zwei Strom-Elemente ab und cd, wie Fig. 596, in gleicher Richtung, so ist nach *Ampère* ihre Anziehung $k = -\frac{aa}{2} \,.\, \frac{\alpha\alpha' ii'}{rr}$, oder es findet Abstossung zwischen ab und cd statt. Um nach *Weber* das Resultat der Wirkung zu

finden, müssen wieder alle vier Wirkungen untersucht werden: $+ \alpha e$ und $+ \alpha' e'$ gehen mit gleicher Geschwindigkeit hinter einander her, also ist ihre relative Geschwindigkeit $v = o$. Für $- \alpha e - \alpha' e'$ ebenso.

$+ \alpha e$ und $- \alpha' e'$ bewegen sich gegen einander mit der Geschwindigkeit u, haben also die relative Geschwindigkeit $v = 2u$; $- \alpha e$ und $+ \alpha' e'$ haben dieselbe relative Geschwindigkeit $v = 2u$.

Für alle vier Fälle ist endlich die Beschleunigung $g = o$, weil kein Grund dazu vorhanden; denn $+ \alpha e$ und $- \alpha' e'$ nähern sich nur, um nachher sich eben so schnell wieder von einander zu entfernen. Die Wirkung für alle vier Fälle ist also

$$1) \quad - \frac{\alpha \alpha' e e'}{rr}$$

$$2) \quad - \frac{\alpha \alpha' e e'}{rr}$$

$$3) \quad + \frac{\alpha \alpha' e e'}{rr} (1 - p v^2)$$

$$4) \quad + \frac{\alpha \alpha' e e'}{rr} (1 - p v^2).$$

Die Summe oder Gesammtwirkung gibt demnach $- 2 \, . \, \frac{\alpha \alpha' e e'}{rr} \, . \, p v^2 = k$ oder Abstossung. Vergleicht man diesen Ausdruck mit *Ampère's* Formel für diesen Fall oder mit $k = - \frac{a a}{2} \, . \, \frac{\alpha \alpha' i i'}{rr}$ und setzt man wieder für i und i' die Werthe eu und $e'u$ oder $\frac{e v}{2}$ und $\frac{e' v}{2}$, so wird $p = \frac{aa}{16}$ gefunden. Das *Weber*'sche Gesetz ist also, wenn man p und b durch die *Ampère*'sche Constante aa ausdrückt, dargestellt durch

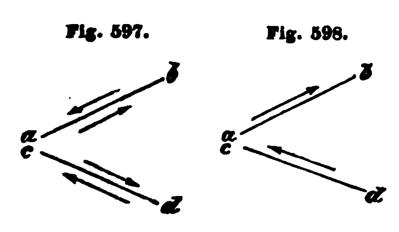
$$k = - \frac{\alpha \alpha' e e'}{rr} \left(1 - \frac{aa}{16} \, . \, v v + \frac{aa}{8} g r\right).$$

In dieser Form kann *Weber's* Gesetz zur Uebung auf beliebige Richtungen der Ströme angewandt werden, indem man sie in solche zerlegt, die zur Verbindungslinie senkrecht und zu ihr parallel sind, die relativen Geschwindigkeiten von e und e' und ihre relative Beschleunigung für alle 4 bestimmt und sodann die Wirkungen addirt. Den absoluten Werth von a hat *Weber* in der neuesten Zeit ebenfalls bestimmt. Setzt man nämlich $\frac{4}{a} = c$, so ist $c = 439450000000$ Millim. oder 59321 Meilen in 1 Sekunde.

Hieran knüpft sich die in §. 421 erwähnte theoretische Bestimmung der Geschwindigkeit der Elektrizität von *Kirchhoff*, wornach sich letztere in einem Draht, der keinen Widerstand leistet, wie eine Welle in einer gespannten Saite und mit der Geschwindigkeit $C = \frac{59321}{\sqrt{2}} = 41940$ oder wie das Licht im leeren Raum fortpflanzt.

Ganz dieselben Gesetze der Anziehung und Abstossung elektrischer Ströme hat *Helmholtz* auf theoretischem Wege für zwei Wasserfäden gefunden, wenn die Theilchen während ihrer Bewegung nicht rotiren.

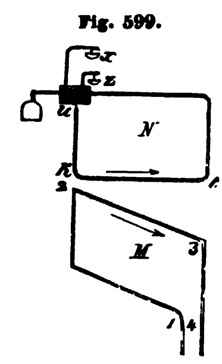
§. 489.



Wenn zwei geradlinigte Ströme ab und cd, Fig. 597, einen Winkel bilden, und beide nach dem Scheitel desselben gehen, oder sich von diesem entfernen, so ziehen sie sich an; haben sie aber entgegengesetzte Richtungen, wie in Fig. 598, so stossen sie sich ab.

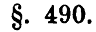
Um dieses nachzuweisen, stellt man

Fig. 599.



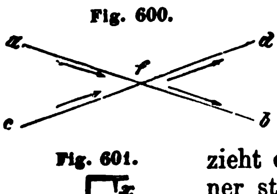
unter den Leiter *N*, Fig. 599, welcher in dem *Ampère*'schen Gestelle aufgehängt wird, den rechtwinklicht gebogenen Draht *M* so auf, dass 2,3 einen Winkel mit *kt* bildet, dessen Scheitel in der Vertikallinie *ku* liegt, und gibt den Strömen die verlangte Richtung. Das Drahtende von 1 ist in *s*, Fig. 590, das andere 4 in *r* befestigt. Wenn zwei Ströme nicht in derselben Ebene liegen, so versteht man unter dem Scheitel die kürzeste senkrechte Linie, welche zu den beiden geraden Leitern gedacht werden kann.

Dieser Fall ist als der allgemeinste in dem vorhin angegebenen *Ampère*'schen Gesetz enthalten. Für entgegengesetzte Stromrichtungen erhalten *i* und *i'* entgegengesetzte Zeichen. Durch die *Weber*'sche Formel erhält man bei gehöriger Rücksicht auf die relativen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen dasselbe Resultat.



§. 490.

Fig. 600.



Wenn zwei geradlinigte Ströme *ab* und *cd*, Fig. 600, sich schneiden, so müssen sie so lange ein Bestreben zeigen, sich parallel zu stellen, bis ihre Ströme nach einerlei Richtung gehen und parallel sind Denn *cf* zieht den Strom *af* an, und *fd* den Strom *fb*. Ferner stösst *cf* den Strom *bf* ab, und *fd* den *af*. Bildet *af* mit *cf* einen stumpfen Winkel, so muss dasselbe erfolgen, wie man durch eine Zeichnung leicht findet.

Fig. 601.

Diess weist man nach, indem man den Leiter, Fig. 601, in den Schälchen *x*, *z* des *Ampère*'schen Gestells aufhängt, und den Leiter 1, 2, 3, 4 so unter die Mitte desselben stellt, dass die Vertikallinie von *x*, *z* durch die Mitte von 2,3 geht.

§. 491.

Die verschiedenen Theile eines Stromes üben eine zurückstossende Kraft gegen einander aus. Dieser Satz folgt aus §. 489, denn, wenn Fig. 602 der Winkel zwischen *ab* und *cd* stumpf ist, so stossen sich nach jenem §. die Stromtheile *ab* und *cd* oder die unendlich kurzen Ströme bei *b* und *c* ab; also auch noch, wenn *ab* und *cd* eine gerade Linie bilden.

Fig. 602.

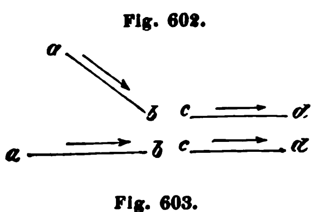
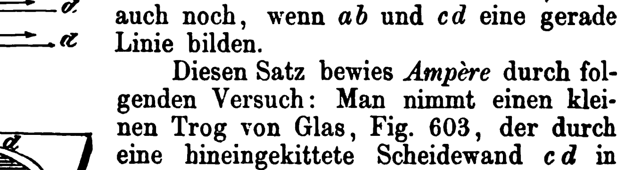


Fig. 603.



Diesen Satz bewies *Ampère* durch folgenden Versuch: Man nimmt einen kleinen Trog von Glas, Fig. 603, der durch eine hineingekittete Scheidewand *cd* in zwei Fächer abgetheilt ist, und füllt ihn zum Theil mit Quecksilber. Auf dieses setzt man den Leiter *efgh* von Kupferdraht, der bis an die Enden mit Seide

überzogen ist. Darauf taucht man die Polardrähte in die Schälchen *a* und *b*, welche gleichfalls durch Drähte mit dem Quecksilber in den Fächern verbunden sind. Im Augenblick entfernt sich der Leiter *efgh* parallel mit seiner Lage nach dem andern Ende des Troges. Hiezu gehört aber eine starke Kette.

Obiger Satz ist auch durch folgenden Versuch von *Jacobi* erwiesen. In dem Augenblick, in welchem eine in sich selbst geschlossene, sehr starke Kette aus 12 *Wollaston*'schen Plattenpaaren den höchsten Grad der elektrischen Thätigkeit entwickelte, wurden die Verbindungsdrähte aus ihren Quecksilbergefässen herausgeworfen. Wie dieser Satz aus *Weber's* allgemeinem Gesetz und aus dem von *Ampère* folgt, ist schon im §. 488 gezeigt worden.

Folgende Wirkung des elektrischen Stromes, die *Gore* entdeckt hat, möge einstweilen hier ihre Stelle finden. Legt man, wie in Fig. 604, zwei Metallstreifen *A* und *B* in derselben Horizontalebene einander parallel und darauf eine cylindrische Metallröhre *C* von geringem Durchmesser, so kommt diese in fortwährendes Schwanken hin und her, so bald ein elektrischer Strom durchgeht, geräth aber durch einen schwachen Anstoss in fortwährendes Rollen nach der Richtung des Stosses. Man kann auf diese Art eine leichte Hohlkugel von Metall, die, wie in Fig. 605, auf zwei um eine Holzscheibe gelegten Metallringen ruht, in fortdauerndes Rollen versetzen, wenn der eine Ring durch den Draht bei *E*, der andere durch den bei *D* mit den Polen einer Kette verbunden ist. Diese und ähnliche Erscheinungen haben wahrscheinlich ihren Grund in der Funkenbildung und Erwärmung an den Berührungsstellen so wie in der Ausdehnung der Luft an denselben.

Fig. 604.

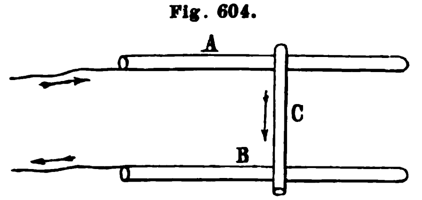
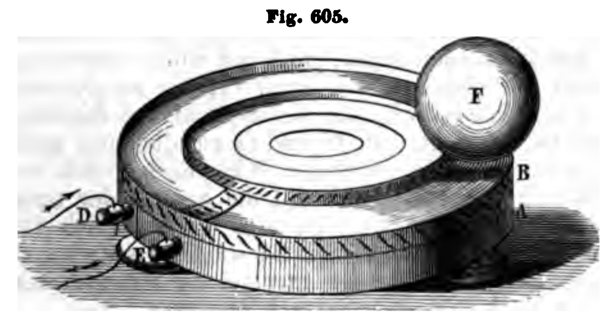


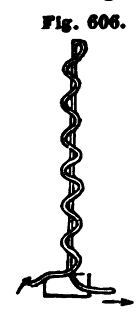
Fig. 605.



§. 492.

Die Wirkung eines in sehr kleinen Windungen krummlinigt gebogenen Stromes ist eben so gross als die eines geradlinigten, wenn die allgemeine Richtung und Länge des ersten, wie in Fig. 606, der des zweiten gleich ist.

Fig. 606.

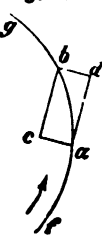


Davon überzeugt man sich, wenn man einen mit Seide übersponnenen Kupferdraht, wie in Fig. 606, biegt, und neben die Seite *ik* des Leiters *N* in Fig. 590 stellt. Wenn der Strom in dem krummen Theile des Drahtes aufwärts geht, so geht er im geraden Theile abwärts. Welche Richtung der Strom in *ik*, Fig. 590, auch haben mag, so erfolgt doch keine Bewegung des Leiters *N*, weil der krummlinigte Strom in Fig. 606 völlig gleiche, aber entgegengesetzte Wirkung hat mit dem geradlinigten; dasselbe geschieht, wenn der gebogene Leiter in verschiedene Lagen gegen *ik* in Fig. 590 gebracht wird.

Fig. 607.



§. 493.

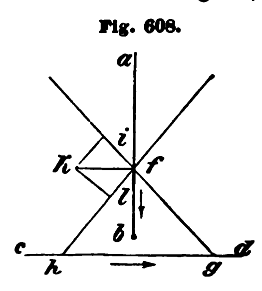


Aus dem vorigen §. folgt, dass man die Wirkung eines sehr kleinen Theils *ab*, Fig. 607, von einem Strome *fg* zerlegen kann, in die Wirkung irgend zweier andern Stromtheile *ac* und *bc*, oder dass der Strom *ab* als das Resultat der Ströme *ac* und *cb*, oder der Ströme *ac* und *ad* angesehen werden kann; dass also die Lehre vom Parallelogramm der Kräfte auch auf die Wirkung solcher kleinen elektrischen Stromtheile anwendbar ist.

§. 494.

Wenn ein begrenzter Strom *ab*, Fig. 608, nach einem unbegrenzten Strome *cd* geht, so suchen sich beide nach einer Richtung abzustossen, die der Richtung des letzten entgegengesetzt ist; entfernt sich dagegen der Strom *ab* von *cd*, so sucht er mit dem letzten in gleicher Richtung fortzugehen. Denn betrachtet man die Wirkung irgend zweier Stücke *ch* und *gd*, welche von der Mitte *b* gleichweit entfernt sind, auf irgend einen Punkt *f*, so wirkt *ch* anziehend auf *f*, mit einer Kraft, die z. B. durch *fl* ausgedrückt werden kann, und *gd* wirkt abstossend mit der gleichgrossen Kraft *fi*; die resultirende von beiden wird, der Grösse und der Richtung nach, durch *fk* ausgedrückt. Zerlegt man *fi* und *fl* parallel und senkrecht zu *ab*, so sieht man, dass die parallelen Wirkungen gleich und entgegengesetzt sind und sich aufheben, während die Summe der senkrechten Wirkungen auf *ab* wieder *fk* gibt. Ist also *ab* beweglich und *cd* fest, so wird *ab* von *f* nach *k* bewegt, und ist *ab* fest, so wird *cd* von *c* nach *d*, also nach der Richtung des Stromes *cd* fortgetrieben. Der letzte Fall wird durch nachstehenden Versuch bewiesen:

Fig. 608.



Man nimmt einen beweglichen Leiter, Fig. 609, welcher aus einem kupfernen Ringe *bdef* und einem rechtwinklicht angelötheten Drahte *abc* besteht. Der Ring ist bei *cf* durch einen Nichtleiter unterbrochen und der Arm *agh* besteht gleichfalls aus einem Nichtleiter. Diesen Leiter setzt man mit der Stahlspitze *a* in das Schälchen *m*, Fig. 610, welches auf dem Metalldrahte *mn* befestigt ist. Das kupferne cylindrische Gefäss *rs* ist mit gesäuertem Wasser angefüllt, und in dieses taucht der Ring *hc*. Der Metalldraht *mn* geht durch ein Korkholz, welches in der Dille 00 steckt, und steht mit dem einen Pole der Kette, das Gefäss *rs*, dessen Boden mit Harz überzogen ist, mit dem andern Pole in Verbindung. So wie der Strom beginnt, der wegen des eingeschalteten Wassers von einer mehr-elementigen Kette herrühren muss, fängt auch sogleich die Drehung des Ringes an, denn wenn z. B. der Strom *abc* (Fig. 609) ankommt, so durchläuft er den Ring in der Richtung *cdef*. Von allen Punkten des Rings gehen zugleich Ströme wie *pq* senkrecht nach dem Umfange des kupfernen Gefässes durch das Wasser. Der Strom

Fig. 609.

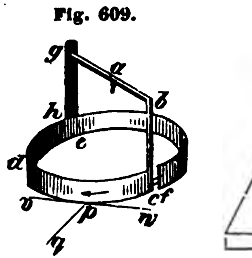
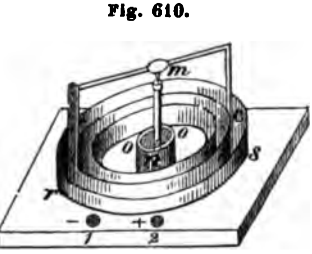
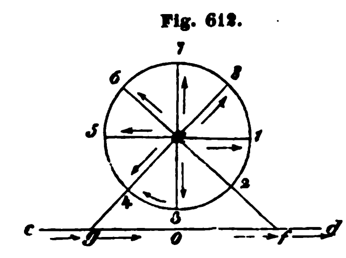


Fig. 610.



pq entfernt sich vom Strome *vw*; also wirkt *pq* anziehend auf *vp* und zurückstossend auf *pw*; folglich dreht sich der Ring in der Richtung von *d* nach *c*. Zugleich sucht dieser Strom das Wasser in entgegengesetzter Richtung zu bewegen; diese Bewegung erfolgt aber nicht wegen der Reibung des Wassers. Wenn der Strom vom Gefässe nach dem Ringe, also von *q* nach *p* geht, so muss er in der Richtung *qcba* abfliessen, *qp* wirkt dann abstossend auf *pc* und anziehend auf *dp*; daher dreht sich der Ring wie vorhin. Wird aber der Arm *bc* bei *f* befestigt, so muss, wie leicht einzusehen ist, die Drehung in entgegengesetzter Richtung erfolgen.

Fig. 611.



Wenn der Leiter *ab*, wie in Fig. 611, um die Achse *a* beweglich ist und nach dem Strom *mno* hingeht, so muss er sich nach dem Obigen in der dem Strom *mno* entgegengesetzten Richtung *bc* drehen. Diess kann man durch den Versuch nachweisen, indem man an das Gefäss *rs*, Fig. 610, das Ende eines übersponnenen Kupferdrahtes löthet, diesen ein oder mehrmals herumwindet und durch denselben den Strom zu dem Kupfergefäss *rs* und durch die Flüssigkeit in den beweglichen Ring zu dem Schälchen *m* leitet, von wo er zum negativen Pol der Kette gehen muss.

Das Kupfergefäss kann man auch so einrichten, dass es an die Stelle des Capitälchens *m* in dem *Ampère*'schen Gestell, Fig. 590, befestigt werden kann.

§. 495.

Ein geradlinigter unbegränzter Strom *cd*, Fig. 612, bewirkt in einem um eine Achse *a* beweglichen, begränzten Strome *a* 1 eine fortwährende Drehung, wenn der letztere den erstern in keiner Lage durchschneidet. Denn ist *a* 1 gleichlaufend mit *cd*, so wird *a* 1 von *od* angezogen; in der Lage *a* 2 wird *a* 2 von *cf* angezogen, von *fd* abgestossen; in der Lage *a* 3 wird *a* 3 von *co* angezogen, von *od* zurückgestossen u. s. w., in *a* 6 wird *a* 6 von *fd* angezogen und von *cf* zurückgestossen. Die Drehung unten ist daher dem Strome *cd* entgegengesetzt.

Fig. 612.

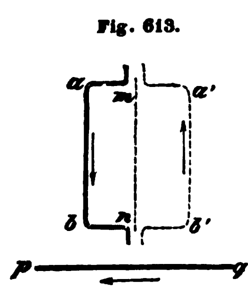
Gienge der Strom von 1 nach *a*, so lässt sich leicht einsehen, dass die Drehung gleichgerichtet sein würde.



Diese Folgerung lässt sich durch den Versuch leicht nachweisen; wenn man statt des unterbrochenen Ringes in Fig. 609 einen ganzen Metallring nimmt und auch den Arm *agh* leitend macht, sodann diesen Ring in einem cylindrischen Gefäss, wie Fig. 610 aufhängt und neben die obern Arme einen Kupferdraht hält. Sobald ein Strom durch diesen und die Arme des Leiters geht, erfolgt die Drehung in der angegebenen Weise.

§. 496.

Fig. 613.



Aus dem §. 488 und den folgenden Sätzen folgt noch, dass ein vertikal abwärts gehender, begränzter Strom *ab*, Fig. 613, der um eine Achse *mn* beweglich ist, und dessen Endpunkte in der Drehachse liegen, von einem horizontalen Strome *pq*, der in irgend einer Entfernung unter oder neben seinem untersten Theile vorübergeht, in die Lage *a' b'* versetzt werden muss und nicht continuirlich rotiren kann. Wenn der Strom *a' b'* aufwärts geht, so muss er aus demselben Grunde in die Lage *ab* versetzt wer-

den. Sind aber beide Ströme ab und $a'b'$ mit einander so verbunden, dass sich keiner ohne den andern bewegen kann, und gehen sie nach *einerlei* Richtung, so bleiben die Arme ab und $a'b'$ in jeder Lage gegen pq in Ruhe, wenn ihre Entfernung von dem Strome pq so gross ist, dass man seine Wirkung auf bb' und aa' als gleichgross ansehen kann. Gehen aber, wie Fig. 614, die mit einander verbundenen Ströme ab und fg nach entgegengesetzten Richtungen, so muss sich die Ebene $abfg$ parallel mit pq und zwar so stellen, dass der aufwärts gehende Strom die Lage von ab und der abwärts gehende die von fg annimmt. Geht also pq z. B. von Ost nach West, so muss der absteigende Strom sich östlich vom aufsteigenden stellen, und der Strom in bf ebenfalls von Ost nach West gehen. Wenn endlich der unbegränzte Strom pq kreisförmig ist, wie in Fig. 615, so muss ab, welches um die zur Mitte der Ebene pq senkrechte Achse mn beweglich ist, sich beständig um mn drehen, im Fall b von n isolirt ist und der Strom also von b durch eine Flüssigkeit nach dem Umfang pq geht. Diese Drehung erfolgt, wenn ab niedersteigend ist, nach entgegengesetzter Richtung von pq, und wenn ab aufsteigend ist, nach gleicher Richtung. Gienge aber der Strom von b nach n, so würde keine Drehung erfolgen, weil dann die Wirkungen des Stroms pq auf ab und bn entgegengesetzt sind.

Fig. 614.

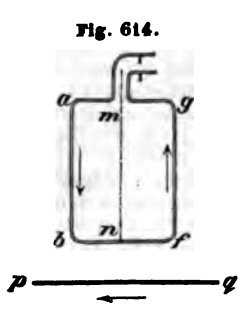
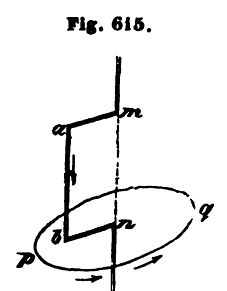
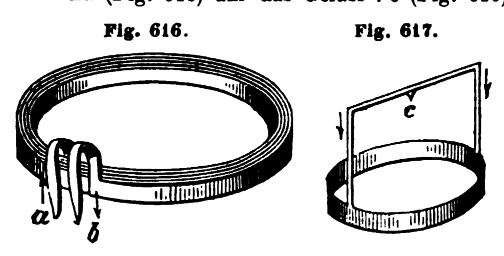


Fig. 615.



Alle diese Folgerungen lassen sich nun nach Beschreibung der früheren Versuche leicht durch bewegliche Leiter darstellen. Um den letzten Satz in der Erfahrung nachzuweisen, legt man das mit Seide übersponnene, kupferne Multiplicator-Band (Fig. 616) um das Gefäss rs (Fig. 610). Eines seiner beiden Enden, entweder a oder b, taucht in ein mit Quecksilber gefülltes und an das cylindrische Gefäss rs gelöthetes Schälchen, das andere Ende taucht in ein mit der galvanischen Kette verbundenes Schälchen. In m wird der Fig. 617 abgebildete Leiter mittelst einer Stahlspitze c aufgehängt. Nachdem der Draht mn Fig. 610 mit dem einen Pole der Kette verbunden ist, geht der Strom durch m in den Armen des Leiters (Fig. 617) herab, durch das Wasser in dem Gefäss rs (Fig. 610), zu dem Gefässe rs, von da in das Multiplicator-Band (Fig. 616), und, nachdem er das Gefäss rs mehrere Male umkreist hat, zum andern Pole der Kette. Die Richtung des Stromes kann beliebig verändert werden; die Richtung der Drehung wird immer dem angegebenen Gesetze entsprechen. Doch hat, wie wir später sehen werden, auch der Erdmagnetismus auf diese Drehung Einfluss.

Fig. 616. Fig. 617.



§. 497.

Bei der Betrachtung über die Wirkung eines unbegränzten Stromes (*Fig. 618*) auf einen geschlossenen, beweglichen Strom $iktu$ sind

Fig. 618.

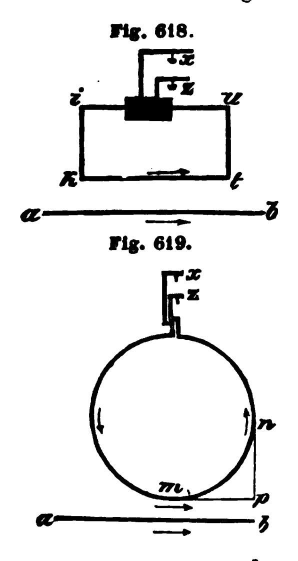


Fig. 619.

zwei Fälle zu unterscheiden: 1) Wenn der erste Strom *a b* dem letztern so nahe ist, dass seine Wirkung auf den untern Theil *k t* viel grösser sein muss als auf den obern Theil *iu*. In diesem Falle stellt sich der geschlossene Strom, vorzüglich vermöge der horizontalen Wirkung von *kt*, parallel und gleichlaufend mit *ab*. Ist aber 2) der Strom *ab* vom geschlossenen Strom so weit entfernt, dass man seine Wirkungen auf *kt* und *iu* als gleichgross ansehen kann, so heben sich diese auf, und der geschlossene Leiter stellt sich nun vermöge der senkrechten Ströme *ik* und *ut* parallel mit *ab*. Dasselbe findet statt, wenn der geschlossene Leiter ein Kreis ist, wie in Fig. 619, indem man die Wirkung auf jedes schiefe Theilchen *mn* zerlegen kann in die Wirkung auf den horizontalen Theil *mp* und den vertikalen Theil *pn*.

§. 498.

Windet man einen Draht schraubenförmig, wie in Fig. 620 oder 621, so dass die einzelnen Theile als Kreise angesehen werden können,

Fig. 620.

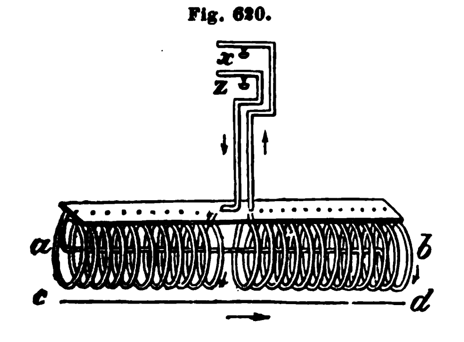


Fig. 621.

welche zur Achse *ab* beinahe senkrecht sind, so erhält man einen elektrodynamischen Cylinder oder Schraubendraht, welcher nach *Ampère* ein Solenoïd heisst, wenn die gegen ihre Achse senkrechten und gleichstarken Ströme unendlich klein gedacht werden. Hängt man den Draht (Fig. 620) in dem *Ampère*'schen Gestelle auf, und leitet sodann einen elektrischen Strom durch ihn, während ein anderer Strom durch den geradlinigten Leiter *cd* geht, so stellt sich die Achse *ab* des erstern senkrecht zum letztern, und zwar so, dass die horizontalen Ströme in dem untern Theile von *ab* gleiche Richtung mit dem Strom *cd* haben. Geht also der Strom *cd* von Ost nach West, so stellt sich das Ende *a* nach Nord und *b* nach Süd. Dieser Satz ist eine unmittelbare Folge des vorigen §., indem der Schraubendraht gleichsam aus mehreren geschlossenen und parallelen Leitern, wie Fig. 619, besteht. Zum leichtern Verständnisse des Folgenden ist es sehr nützlich, sich zwei Cylinder von Holz machen zu lassen, und auf diesen, wie in Fig. 622, die Richtung der Ströme in einem Schraubendrahte durch Pfeile auszudrücken. Um in Zukunft Weitläufigkeiten zu vermeiden, möge das Ende

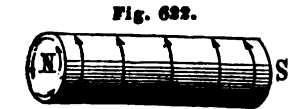


Fig. 622.

S des Cylinders, auf welchem die Pfeile, wenn man es von vorne betrachtet, sich wie die Zeiger einer Uhr, deren Zifferblatt oben ist, bewegen, der *Südpol*, und das andere *N*, auf welchem sie nach der entgegengesetzten Richtung gehen, der *Nordpol* heissen. Eine Anwendung der vorhergehenden Gesetze ist die Bestimmung der Richtung, nach welchem der Nordpol des Schraubendrahtes *ab*, Fig. 620, abgestossen werden muss, wenn man den geradlinigten Leiter *cw* in die verschiedenen Lagen unter, über und neben ihn bringt, und durch beide einen elektrischen Strom gehen lässt. Man sieht leicht ein, dass die Abstossung des Nordpols nach demselben Gesetze erfolgen muss, nach welchem der Nordpol einer Magnetnadel abgestossen wird, wie im §. 437 angegeben ist.

Ampère hat bewiesen, dass die resultirende Wirkung eines unbegränzten Solenoïdes, von welchem *ab*, Fig. 623, das Ende ist, auf einen kurzen und geradlinigten Strom *mn*, senkrecht sei zur Ebene des Dreiecks *bmn*, welches zur Grundlinie den Strom *mn* hat, und zur Spitze das Ende *b* der Achse des Solenoïdes. Diese resultirende Wirkung *pq* geht ferner durch die Mitte von *mn* und ist unabhängig von der Richtung der Achse und des Solenoïdes, so lange als das Ende *b* immer

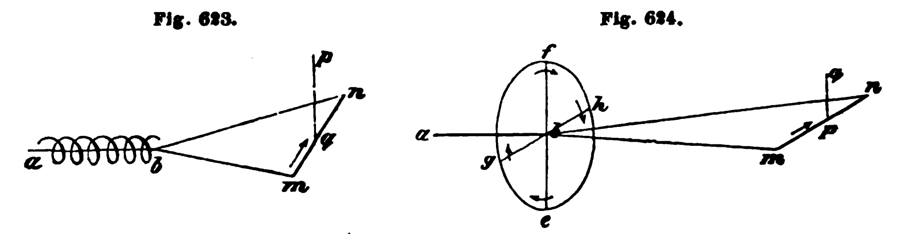


Fig. 623. Fig. 624.

denselben Ort einnimmt. Der allgemeine mathematische Beweis dieses Gesetzes muss hier übergangen werden; um es aber in einem bestimmten Falle einzusehen, denke man sich, der Strom *mn*, Fig. 624, sei senkrecht zur Achse *ab* des Solenoïdes, von welchem der Kreis um *b* ein Theil ist. Zieht man *ef* senkrecht zur Ebene *mnb*, so sind nach §. 488 die Wirkungen von *e* und *f* auf *mn* gleich gerichtet; denn *f* zieht *mn* an und *e* stösst es ab, beide ertheilen ihm also eine Bewegung nach *pq*. Die Wirkungen von *g* und *h*, wenn *gh* parallel mit *mn* ist, verursachen ebenfalls eine zur Ebene *bmn* senkrechte Bewegung des Stromes *mn* in der Richtung von *p* nach *q*. Denn der untere Theil des Stromes bei *g* stösst *mn* ab, und der obere Theil des Stromes bei *h* zieht *mn* an; eben so zieht der obere Theil von *g* den Strom *mn* an, und der untere von *h* stösst ihn ab.

§. 499.

Wenn man durch den Schraubendraht *ab*, Fig. 620, welcher in dem *Ampère*'schen Gestelle aufgehängt ist, einen Strom gehen lässt, und eben so durch den Schraubendraht *ab*, Fig. 621, so stossen die gleichnamigen Pole dieser beiden Cylinder in jeder Lage sich ab, und die ungleichnamigen ziehen sich an, wie die Pole zweier Magnete, da nach dem vorhergehenden §. die Anziehung und Abstossung nicht von der

Lage der Achse des einen Solenoïdes gegen die Elemente des andern abhängt, sondern nur von der Entfernung ihrer Endpunkte.

Alle Anziehungs-, Abstossungs- und Rotations-Erscheinungen lassen sich auch mit thermoëlektrischen oder auf andere Weise erhaltenen Strömen hervorbringen. Die Beschreibung der dazu angewandten Apparate unterbleibt hier, weil sie nicht nothwendig ist.

C. Erregung elektrischer Ströme durch andere oder Induction.

§. 500.

Ausser der in §. 483 angegebenen Entstehung elektrischer Ströme durch andere, hat *Faraday* noch mehrere ähnliche Erscheinungen beobachtet, die durch Bewegung eines von Elektrizität durchströmten Leiters *von* oder *nach* einem andern unelektrischen Leiter entstehen. Alle diese Erscheinungen lassen sich nach *Lenz* einfach auf folgende Art ausdrücken: *Wenn ein metallischer, geschlossener Leiter und ein von Elektrizität durchströmter Leiter einander genähert oder von einander entfernt werden, so entsteht in dem metallischen Leiter ein elektrischer Strom, welcher gerade die entgegengesetzte Richtung von demjenigen hat, der in dem metallischen Leiter schon hätte vorhanden sein müssen, um jene Annäherung oder Entfernung der Drähte zu bewirken*, vorausgesetzt, dass sie nur in der Richtung dieser Bewegung beweglich sind.

Faraday spannte einen mehrere Fuss langen Kupferdraht in weiten Zickzack-Biegungen auf einer Seite eines Brettes aus und befestigte eben so einen zweiten Draht auf ein anderes Brett. Die Enden des einen Drahtes setzte er mit dem Multiplicator, die des andern mit den Polen einer galvanischen Kette in Verbindung. Als er nun das erste Brett dem zweiten rasch näherte, gab die Abweichung der Nadel im Multiplicator einen Strom an, der dem Strom im zweiten Brette entgegengesetzt war. Im Zustande der Ruhe hörte der Strom auf und nahm bei der Entfernung des Brettes die gleiche Richtung mit dem andern Strome an.

Fechner hat obige Erscheinung auf folgende Art ausgedrückt, wodurch sie anschaulicher wird: Wenn man ein Stromtheilchen einem unelektrischen Körper, z. B. einem Drahte, nähert, so ist in diesem positive und negative Elektrizität vorhanden. Die gleichartige Elektrizität wird alsdann nach entgegengesetzter Richtung, die ungleichartige nach gleicher Richtung in Bewegung gesetzt.

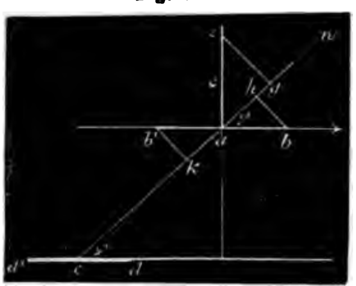
Dieselbe Wirkung, welche das *Annähern* eines Stromes auf einen benachbarten geschlossenen Leiter hervorbringt, hat nach §. 483 das *Entstehen* des Stromes oder das Schliessen der Kette. Die umgekehrte hat das *Oeffnen* oder *Entfernen* des Stromes. Diese beim Oeffnen oder Schliessen entstehenden Ströme sind gleichstark und der inducirenden Stromstärke proportional. Dabei müssen der inducirende und der Nebendraht nicht gerade von einander entfernt sein, sondern man kann sie zur Verstärkung der Wirkung neben einander auf eine Rolle winden; nur müssen beide mit Seide übersponnen sein.

Beide Arten von Induction sind, wie zuerst W. Weber ganz allge-

mein gezeigt hat, nur eine Folge des Gesetzes der Wirkung bewe elektrischer Theilchen, welches wir in §. 488, Anm., mitgetheilt ha Die Anwendung desselben auf zwei besondere Fälle folgt in der merkung.

Nimmt man an, das constante Stromelement $b'b$, Fig. 625, werde von ruhenden Drahte $d'd$ nach der Richtung ac mit der Geschwindigkeit c entfern übεn die elektrischen Theilchen $+e\alpha$ und in a auf die ruhenden $+e'\alpha'$ und $-e'\alpha'$ nach §. 488 unter Beibehaltung der dort Bezeichnung nach der Richtung $ac = r$ Anziehung

Fig. 625.



$$k = -\frac{\alpha\alpha' ee'}{rr}\left(1 - \frac{aa}{16}vv + \frac{aa}{8}gr\right.$$

aus, und es sind die Wirkungen 1) von $+$ auf $+e'\alpha'$, 2) von $-e\alpha$ auf $+e'\alpha'$, 3) $+e\alpha$ auf $-e'\alpha'$ und 4) von $-e\alpha$ auf $-$ zu summiren. Diese hängen von den relat Geschwindigkeiten v und der Beschleuni g ab.

Indem $+e\alpha$ nach ae und ab zugleich trieben wird und c in Ruhe ist, so ist relative Geschwindigkeit v nach der Richtung $an = ag + ah$, und wenn man Geschwindigkeit im Draht wie §. 488 durch $\frac{i}{e}$ ausdrückt, so wird also

$$v = c \sin\varphi + \frac{i}{e}\cos\varphi.$$

Die relative Geschwindigkeit v' von $-e\alpha$ ist dagegen, weil $-e$ zug nach ae und ab' getrieben wird, in der Richtung an ausgedrückt durch

$$v' = c \sin\varphi - \frac{i}{e}\cos\varphi.$$

Die zu r senkrechte Geschwindigkeit von

$$+e\alpha \text{ ist } u = c\cos\varphi - \frac{i}{e}\sin\varphi;$$

weil aber nun α' oder c ruhend, folglich der Mittelpunkt des Kreises ist, dessen Tangente die Geschwindigkeit u stattfindet, so ist nach §. 92 die Beschl gung von

$$+e\alpha \text{ gegen } -e'\alpha' \text{ oder } g = \frac{uu}{ac} = \frac{uu}{r} \text{ und also auch}$$

$$g = \frac{1}{r}\left(c\cos\varphi - \frac{i}{e}\sin\varphi\right)^2.$$

Die zu r senkrechte Geschwindigkeit von $-e\alpha$ gegen $+e'\alpha'$ ist

$$u' = c\cos\varphi + \frac{i}{e}\sin\varphi,$$

folglich die relative Beschleunigung

$$g' = \frac{u'u'}{r} = \frac{1}{r}\left(c\cos\varphi + \frac{i}{e}\sin\varphi\right)^2.$$

Man hat also folgende vier Wirkungen:

$$1) \text{ von } +e\alpha \text{ auf } +e'\alpha' = -\frac{\alpha\alpha' ee'}{rr}\left(1 - \frac{aa}{16}vv + \frac{aa}{8}gr\right)$$

$$2) \text{ von } -e\alpha \text{ auf } +e'\alpha' = +\frac{\alpha\alpha' ee'}{rr}\left(1 - \frac{aa}{16}v'v' + \frac{aa}{8}g'r\right)$$

$$3) \text{ von } +e\alpha \text{ auf } -e'\alpha' = +\frac{\alpha\alpha' ee'}{rr}\left(1 - \frac{aa}{16}vv + \frac{aa}{16}gr\right)$$

$$4) \text{ von } -e\alpha \text{ auf } -e'\alpha' = -\frac{\alpha\alpha' ee'}{rr}\left(1 - \frac{aa}{16}v'v' + \frac{aa}{8}g'r\right).$$

Weil die Summe dieser Wirkungen gleich null wird, so findet also zwischen dem Stromelement $b' b$ und dem stromlosen Draht $d' d$ keine Anziehung statt. Die Wirkungen 1 und 2 auf das ruhende $+ e' \alpha'$ sind aber verschieden von den Wirkungen 3 und 4 auf das ruhende $- e' \alpha'$; denn es ist

$$1 + 2 \text{ oder } P = + \frac{\alpha \alpha' e e'}{r r} \left(\frac{a a}{16} (v v - v' v') - \frac{a a}{8} \cdot r \, (g - g') \right) \text{ und}$$

$$3 + 4 \text{ oder } Q = - \frac{\alpha \alpha' e e'}{r r} \left(\frac{a a}{16} (v v - v' v') - \frac{a a}{8} \cdot r \, (g - g') \right).$$

Wenn aber zwei verschiedene Kräfte P und Q auf verbundene Theile nach entgegengesetzten Richtungen wirken, so entspringt daraus eine Kraft $P - Q$, welche diese Theile zu trennen sucht, und zwar hier in der Richtung ac; diese ist

$$P - Q = \frac{2 \alpha \alpha' e e'}{r r} \left(\frac{a a}{16} (v v - v' v') - \frac{a a}{8} \cdot r \, (g - g') \right).$$

Führt man hier statt v, v', g und g' die oben gefundenen Werthe ein, so wird

$$P - Q = \frac{2 \alpha \alpha' e e'}{r r} \left(\frac{a a}{16} \cdot \frac{4 c i}{e} \sin \varphi \cos \varphi + \frac{a a}{8} \cdot \frac{4 c i}{e} \sin \varphi \cos \varphi \right)$$

oder $P - Q = \frac{3}{2} \cdot \frac{\alpha \alpha' a a}{r r} \cdot e' c i \sin \varphi \cos \varphi$.

Diese Kraft wirkt in der Richtung von c nach a; da aber die ruhende Elektrizität in c nur nach der Länge des Drahtes $d' d$ sich bewegen kann, so kommt nur der Theil $(P - Q) \cos \varphi$ zur Anwendung. Dieser ist positiv; es wird also in $d' d$ eine Trennung nach der Richtung cd, die positive Elektrizität in gleicher Richtung, wie sie in $b' b$ sich bewegt, fortführen; oder die Entfernung des Stroms $b' b$ erzeugt in $d' d$ einen Strom nach gleicher Richtung. Wird die Geschwindigkeit c negativ, nähert man also den Draht $b' b$ dem $d' d$, so wird $P - Q$ negativ; es entsteht also ein Strom nach entgegengesetzter Richtung.

Auch das zweite Inductions-Gesetz, dass durch das Entstehen eines Stromes $b' b$ in dem benachbarten Leiter $d' d$ ein Strom nach entgegengesetzter Richtung erzeugt wird, folgt aus *Weber's* Gesetz ganz einfach; denn da in diesem Fall $+ e \alpha$ entweder erst in Bewegung kommt, oder nur eine schnellere erhält, so gibt es eine Beschleunigung F für $+ e \alpha$ nach ab und eine $= F'$ für $- e \alpha$ nach ab'. Weil aber nun $c = o$, so ist der oben gefundene Werth von $v v - v' v' = o$. Die Beschleunigung, die oben in dem Werth von $P - Q$ durch $g - g'$ ausgedrückt war, wird ebenfalls $= o$ und es bleibt also nur noch die relative Beschleunigung F für die positive und F' für die negative Elektrizität in der Richtung von c nach a zu bestimmen. Die erstere ist $F \cos \varphi$, die zweite $- F \cos \varphi$; also wird in dem obigen Ausdruck von $P - Q$, statt

$$\frac{a a}{8} r \, (g - g') \text{ gesetzt } \frac{a a}{8} \cdot r \cdot F \cdot 2 \cdot \cos \varphi \text{ und daher}$$

$$P - Q = - \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha \alpha'}{r} \cdot e e' \cdot a a \cdot F \cdot \cos \varphi.$$

Die trennende Wirkung geht also von a nach c, und da sie wieder in der Richtung des Leiters $d' d$ erfolgen muss, so zerlegt man $P - Q$ in die zu $d' d$ parallele Kraft $(P - Q) \cos \varphi$ und die senkrechte. Letztere kommt nicht zur Anwendung; erstere aber wird nun

$$- \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha \alpha'}{r} \cdot e e' a a F \cdot \cos^2 \varphi,$$

und drückt also das Entstehen eines Stromes nach einer, dem $b' b$ entgegengesetzten Richtung aus.

Fig. 626.

Eine weitere Bestätigung erhält das obige Gesetz durch folgenden Fall:

Wird ein begränzter metallischer Leiter ab (Fig. 615, S. 652), der senkrecht auf einem vom elektrischen Strome durchflossenen Leiter pq steht, um die Achse mn gedreht, so entsteht in ihm ein Strom, der abwärts geht, wenn die Drehung in der Richtung des Stromes pq erfolgt, und aufwärts gerichtet ist, wenn sie nach entgegengesetzter Richtung erfolgt. Um dieses durch den Versuch nachzuweisen, nahm *Nobili* einen Kupferstreifen pq, Fig. 626, der am Rande einer Scheibe von Holz befestigt war, und um eine

vertikale Achse neben einem elektrischen Strom *ab* schnell gedreht wurde. Die Richtung des durch Induction erhaltenen Stromes auf den Kupferstreifen erkennt man durch Berührung desselben in *x* und *y* mit zwei amalgamirten kupfernen Stäbchen, welche an die Enden des Multiplicatordrahtes gelöthet sind. Erfolgte die Drehung von *pq* in der Richtung des Pfeiles *mn*, und hatte der Strom die Richtung von *a* nach *b*, so gab die Nadel des Multiplicators das Entstehen eines Stromes von *x* nach *y* auf der Kupferscheibe an u. s. w. Die Induction der elektrischen Ströme hat *Faraday* auch in geschmolzenen Metallen und in leitenden metallischen Flüssigkeiten nachgewiesen.

§. 501.

Auch der Schliessungsdraht einer Leidner Flasche oder Batterie verursacht in einem benachbarten Leiter eine Elektrizitätsbewegung, welche man den *elektrischen Nebenstrom* zur Unterscheidung von dem durch Galvanismus, Thermoëlektrizität etc. erzeugten Nebenstrom nennt. Die Gesetze desselben hat besonders *Riess* genauer untersucht. Er bediente sich dabei flacher Spiralen, wie Fig. 627. *A* und *B* sind Holzscheiben von ohngefähr 1 Fuss im Durchmesser, in welche 30 Kreise geschnitten sind, die, durch Querschnitte verbunden, eine Spirale bilden. In diese wird ein Kupferdraht von ½ Linie Dicke gelegt und festgekittet. Die Zwischenräume werden sodann mit Pech ausgegossen und dieses durch heisse Metallplatten geglättet. An die Enden der Drähte in *m*, *n*, *p*, und *q* werden die Drähte eines Multiplicators und dergl. befestigt. Beide Spiralen sind ganz gleich. Die untere *B* ruht auf Glasfüssen, die obere *A* kann an dem Glasstab *cd* verschoben und der untern beliebig genähert werden. Schliesst man die Spirale *A* bei *m* und *n* durch das Anfassen von zwei Handhaben, und lässt man durch die Spirale von *B* die Entladung einer Leidner Flasche gehen, indem man *p* mit der innern, *q* mit der äussern Belegung derselben verbindet, so erhält man durch den entstehenden Nebenstrom einen Schlag. Dieser Nebenstrom, der natürlich von sehr kurzer Dauer ist, bringt auch Licht-, Wärme- und magnetische Wirkungen hervor. Er wird nicht verändert, wenn sich zwischen beiden Spiralen ein Nichtleiter befindet; wohl aber auch durch jeden Körper geschwächt, in welchem gleichfalls ein elektrischer Strom erzeugt werden kann. Die Richtung desselben hat *Riess* hauptsächlich durch die Wirkungen auf einen Harzkuchen und auf den Condensator bestimmt. Bringt man nämlich zwei Drähte, die mit der äussern und innern Belegung einer geladenen Flasche verbunden sind, mit den beiden Seiten des Harzkuchens in Berührung, so wird die Flasche zwar nicht entladen, aber es bilden sich beim Bestauben der Harzplatte Figuren, welche in der Art, wie die Lichtenbergischen, verschieden sind. Man kann also aus der Gestalt dieser Figuren die Richtung des Stromes erkennen. Ganz ähnliche Figuren entstehen auch durch den elektrischen Nebenstrom, und man findet, dass dieser *dieselbe Richtung wie der primäre Strom hat.* Als Ursache davon muss man die Endwirkung oder das Aufhören des primären Stromes *ısehen;* denn die anfangende Wirkung desselben, welche einen Strom

Fig. 627.

in entgegengesetzter Richtung induciren würde, ist von dem Ende der Entladung durch einen so unendlich kurzen Zeitraum getrennt, dass sie sich nicht bemerklich machen kann. Die relative Stärke zweier elektrischer Nebenströme fand *Riess* durch die Erwärmung eines Platindrahtes, welcher in ein Luftthermometer eingeschlossen war.

Befestigt man bei p, Fig. 627, eine Kugel, und bei q eine Kette, die mit dem Reibzeug einer Elektrisirmaschine in Verbindung steht, so geht durch den auf B befestigten Spiraldraht ein Strom, so oft ein Funke von dem Conductor der Elektrisirmaschine auf die bei p befestigte Kugel überspringt. Dieser Strom inducirt auch in dem Spiraldraht der Scheibe A einen Strom, wie man leicht sehen kann, wenn man die Drahtenden von m und n einander sehr nahe bringt, indem alsdann jedesmal auch ein Funke von m auf n überspringt.

Die wichtigsten Gesetze des durch Entladen der Leidner Flasche erzeugten Nebenstromes sind nach *Riess* und *Knochenhauer* folgende:

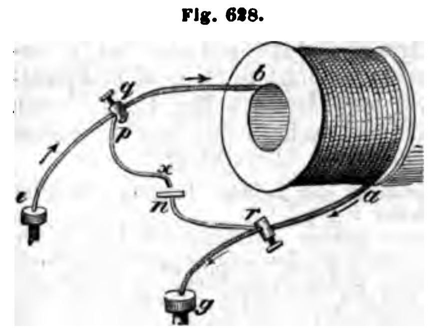
1) Der Hauptstrom, durch welchen eine gewisse Elektrizitätsmenge in bestimmter Zeit entladen wird, erregt einen Nebenstrom, der eine proportionale Elektrizitätsmenge in proportionaler Zeit entladet. 2) Die Stromstärke ist direct proportional der wirksamen Menge des Hauptdrahts und umgekehrt proportional dem Abstand beider. 3) Die im Nebendraht erregte Elektrizitätsmenge ist um so grösser, je paralleler die beiden Ströme laufen. 4) Der Nebenstrom ist abhängig von dem Leitungsvermögen des Nebendrahts. 5) Die Dauer der Entladung wird in dem Verhältniss verzögert, als das Leitungsvermögen schlechter ist. 6) Da die Flasche sich nicht auf einmal entladet, so erzeugen die partiellen Entladungen Nebenströme, welche die nächste Entladung verzögern, weil sie gleiche Richtung haben. 7) Zwei einander parallele Theile des Schliessungsbogens einer Batterie wirken auf einander ein. Der Entladungsstrom wird durch diese Einwirkung geschwächt, wenn er beide Theile in gleicher Richtung durchläuft, und verstärkt, wenn er so gebogen wird, dass diese Richtungen entgegengesetzt sind.

§. 502.

Nach dem Inductionsgesetz (§. 500) erregt der Entladungs-Strom in einem benachbarten geschlossenen Leiter beim Oeffnen der Kette einen Strom nach gleicher Richtung. Dieselbe Wirkung hat ein elektrischer Strom in einem Leiter auf die Theilchen desselben, an denen er, wie man sich vorstellen muss, vorübergeht. Man kann sich daher jeden Leiter in zwei neben einander liegende Leiter zerlegt denken, deren einer von Elektrizität durchströmt ist, der andere nicht. Wird dieser Strom unterbrochen, so zeigt sich ein inducirter Strom nach gleicher Richtung. Diesen Nebenstrom nennt *Faraday*, welcher ihn zuerst nachgewiesen hat, den *Extrastrom;* Andere nennen ihn auch secundären oder *Gegenstrom.* Die Wirkung desselben wird verstärkt, wenn man dem Leiter die Form eines Schraubencylinders oder einer Spirale gibt, weil alsdann jedes Stromtheilchen die Wirkung des benachbarten Theilchens verstärkt. Daher zeigt schon der in Fig. 587, S. 636 abgebildete Helix beim Oeffnen einer durch ihn geschlossenen einfachen Kette, wenn er 60 bis 80 Fuss lang ist, einen sehr starken Funken. Wird die Unterbrechung desselben durch das Auf- und Abfahren an einer Eisenfeile vollzogen, so verbrennt das Eisen mit lebhaftem Funkensprühen. Der Extrastrom bringt dieselben Wirkungen hervor, wie jeder andere. Nach *Faraday* kann man diess auf folgende Art nachweisen: Man nimmt einen ohngefähr 400 Fuss langen und ½ Linie dicken Kupferdraht, der mit Seide übersponnen ist, und windet ihn, wie

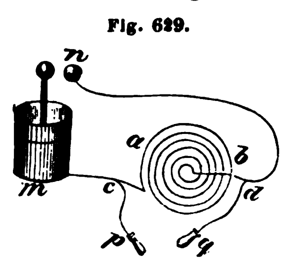
in Fig. 628, um einen hohlen Cylinder von Holz, welcher 4 bis 5 Zoll lang ist und innen etwa ¾ Zoll im Durchmesser hat. Die Enden eines Drahtes taucht man bei *g* und *e* in zwei Schälchen mit Quecksilber, von denen das erste an das Zinkelement, das andere an das Kupferelement einer einfachen Kette gelöthet ist. *nr* und *px* sind zwei kurze Querdrähte, welche an den langen Leiter gelöthet, und an ihren Enden mit Klemmschrauben für Handgriffe u. dgl. versehen sind. Berühren sich nun diese beiden Drähte bei *x*, so geht der Strom in der Richtung der Pfeile von *e* theils auf dem langen Weg, theils auf dem kurzen nach *g*. Oeffnet man alsdann die Kette bei *g*, so erhält man nur einen sehr schwachen Funken, weil der stärkere Theil des Stromes durch die kurzen Drähte *nr* und *px* gegangen ist. Trennt man aber bei *x* die Querdrähte ein wenig von einander, so geht beim Oeffnen der Kette der in *ba* erzeugte Extrastrom in Gestalt eines Funkens zum Theil bei *x* von *n* auf *xp* über, und hat also in den Querdrähten die Richtung von *r* nach *q*, welche der von *e* durch *qr* nach *g* entgegengesetzt ist. Davon kann man sich leicht mit Hilfe des Multiplicators, oder durch ein mit Jod-Kalium befeuchtetes Papier, welches man zwischen die Drähte bei *x* legt, überzeugen. Das Jod scheidet sich an *n* und das Kalium an *x* aus. Bringt man zwischen *n* und *x* ein Stückchen Platindraht, so wird dieses durch den Extrastrom glühend. Trennt man *n* und *x* hinreichend weit von einander, und fasst man bei *n* und *x* befestigte Handhaben mit feuchten Händen an, so erhält man einen kräftigen Schlag in dem Augenblick, in welchem die Kette geöffnet wird. Auch beim Schliessen der Kette muss ein Extrastrom, nur nach entgegengesetzter Richtung, entstehen. *Edlund* hat bewiesen, dass beide gleich stark und der inducirenden Stromstärke proportional sind.

Fig. 628.



Dove hat den Extrastrom auch durch das Entladen einer Leidner Flasche auf folgende Art nachgewiesen. In Fig. 629 ist *mn* der Schliessungsdraht der Flasche, *ab* eine Spirale von Kupferdraht, welche in Holz eingelassen ist, und deren Windungen wie in Fig. 627 gehörig von einander isolirt sind; *cp* und *dq* zwei angelöthete Drähte mit Handhaben. Fasst man diese an, so erhält man in dem Augenblicke, in welchem die Flasche entladen wird, einen Schlag, welches nicht der Fall ist, wenn die Spirale ausserhalb *cd* angebracht wird. Der primäre Strom geht nämlich in beiden Fällen, der schlechten Leitung wegen, nicht mit merklicher Stärke durch den Körper.

Fig. 629.



Dass alle Inductions-Ströme chemische, mechanische, Licht, Wärme, magnetische etc. Wirkungen hervorbringen können, wie andere elektrische Ströme, ist durch viele Versuche bewiesen.

D. Wirkung des Erdmagnetismus auf elektrische Ströme.

§. 503.

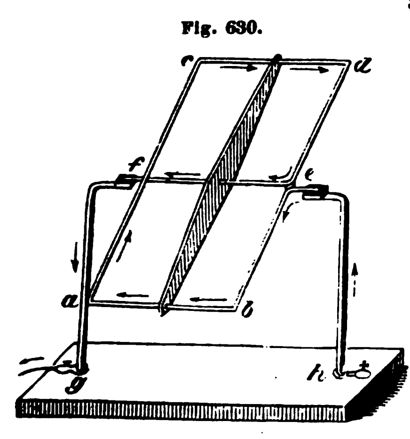
Eine Wechselwirkung des Erdmagnetismus und der elektrischen Ströme musste vermuthet werden, sobald man den früher angegebenen Einfluss der elektrischen Ströme auf die Magnetnadel kannte. Sie lässt sich nach den bis jetzt gemachten Erfahrungen ganz allgemein auf folgende Art ausdrücken: *Der Erdmagnetismus wirkt auf bewegliche Ströme, als wenn die ganze Erde von Ost nach West, parallel mit dem magnetischen Aequator, von elektrischen Strömen umkreist wäre, deren resultirende Kraft durch einen einzigen Strom im magnetischen Aequator vorgestellt werden kann.*

Alle Folgerungen, die sich aus diesem Gesetze ergeben, werden durch Versuche bestätigt. Einige derselben sind in den nachfolgenden §§. angeführt.

Nachdem *Fox*, *Reich* und Andere die Existenz von Erdströmen ohne bestimmte Richtung nachgewiesen hatten, stellte *Lamont* Vorrichtungen über und unter der Erde her, durch welche der Zusammenhang eines elektrischen Erdstromes mit den magnetischen Bewegungen erwiesen ist. Das Galvanometer wird in eine Leitung eingeschlossen, deren Enden in die Erde gehen und mit Metallplatten versehen sind; so oft nun der Erdstrom schnell zu- oder abnimmt, also gleichsam eine Welle durch die Platten geht, gibt auch das Galvanometer den Erdstrom an. Das Galvanometer und die magnetischen Instrumente stimmen genau in den Vor- und Rückwärts-Bewegungen mit einander überein, aber nicht in der Dauer; indem es scheint, dass die Welle beim Ankommen zuerst durch den Leitungsdraht geht, nachher aber sich in der Erde zerstreut. Mit der Tiefe nimmt die Einwirkung des Erdstroms ab, und ist in 12 Fuss Tiefe nur halb so gross. Die *Hauptrichtung* ist aber senkrecht zum astronomischen und nicht zum magnetischen Meridian, und bildet also einen *Aequatorialstrom*. Unregelmässige Ströme gibt es auch sonst noch nach allen Richtungen. Der Aequatorialstrom kann inzwischen die *täglichen* Variationen nicht hervorrufen, da er die vertikale Intensität nicht ändern kann, und es auch Aenderungen der Inclination gibt. Vielleicht liegt der Grund der Variationen in einer Induction durch den Erdkern; oder der regelmässige Theil der täglichen Variationen ist dem Einfluss der Sonne und der unregelmässige dem Erdstrom zuzuschreiben.

§. 504.

Fig. 630.



Ein geschlossener Strom, der sich frei um eine horizontale Achse drehen kann, nimmt, wenn diese Achse zum magnetischen Meridian senkrecht ist, eine zur Inclinations-Nadel senkrechte Lage an, und der vom Aequator angezogene Theil des Stromes geht von Ost nach West, während der abgestossene Theil von West nach Ost geht.

Man nimmt ein leichtes Rähmchen von Holz *abcd*, Fig. 630, welches mit zwei dünnen Metallstiften *f* und *e* versehen ist, um die es sich leicht drehen kann. Dieses Rähmchen umwindet man mehrmals mit übersponnenem Kupfer-

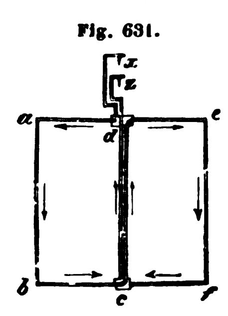
draht in der Richtung *acdb*, und befestigt das eine Ende desselben am Stifte *f*, das andere in *e*. Die Stifte *f* und *e* ruhen in den Vertiefungen zweier Metallstäbe *fg* und *eh*, welche mit den Polen einer kräftigen Kette in Verbindung stehen. Der Schwerpunkt des beweglichen Leiters muss in der Linie *ef* liegen, und das Ganze so aufgestellt werden, dass *ef* senkrecht zum magnetischen Meridian ist. Im Augenblicke, wo der Strom beginnt, dreht sich das Rähmchen mit dem Theile, in welchem der Strom von Ost nach West geht, nach Süden, und mit dem andern nach Norden. Die Ebene *abcd* wird zugleich senkrecht zur Inclinations-Nadel. Ist die Kette sehr kräftig, so genügt auch ein einfacher Draht, welcher in der oben angegebenen Weise gebogen, und durch ein zur Achse *fe* senkrechtes Holzstäbchen in der ihm gegebenen Form erhalten wird.

§. 505.

Ein um eine vertikale Achse beweglicher, geschlossener Strom wird durch den Einfluss des Erdmagnetismus stets senkrecht zum magnetischen Meridian gestellt und mit dem Theil nach Osten gerichtet, in welchem der Strom niedergehend ist. Dieser Satz ist eine unmittelbare Folge des §. 496 und 497.

Zur Bestätigung des Obigen hängt man in dem *Ampère*'schen Gestell den Leiter (Fig. 618 oder 619) auf, und lässt den Strom einer kräftigen Kette hindurchgehen. Aus jeder Lage wird er in eine solche Richtung sich versetzen, dass in seinem untern Theile der Strom von Ost nach West geht. Aendert man alsdann die Richtung des Stromes, so beschreibt der Leiter einen Halbkreis, bis der Strom in Beziehung auf die Weltgegenden wieder dieselbe Lage hat. Windet man dagegen einen Draht, wie in Fig. 631, so, dass der Strom in ihm den durch die Pfeile angedeuteten Weg machen muss, so erleidet er in keiner Lage eine Drehung durch den Erdmagnetismus, indem die Wirkungen auf die horizontalen Ströme sich aufheben, und die vertikalen Ströme nach §. 496 ebenfalls einander das Gleichgewicht halten. Dieser von *Ampère* erfundene *astatische Leiter* kann auch zu den in den §§. 488, 489 u. s. w. angeführten Versuchen benutzt werden, indem alsdann keine bestimmte Stellung des Leiters von Ost nach West nöthig ist, und man die reine Wirkung eines elektrischen Stromes auf einen andern erfährt.

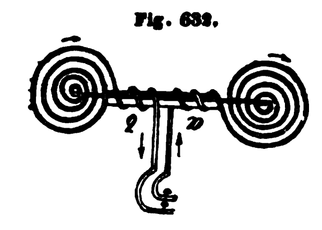
Fig. 631.



§. 506.

Ein elektrodynamischer Cylinder, durch welchen ein Strom geht, muss sich mit seinem Nordpol (m. s. §. 498) nach Norden richten, wie eine Magnetnadel.

Man hängt, um dieses nachzuweisen, den Leiter (Fig. 620) in dem *Ampère*'schen Gestelle auf. Dieser Leiter stellt sich mit seiner Achse von Nord nach Süd, weil in ihm die Windungen senkrecht zur Achse *ab* sind, während sich der Leiter, Fig. 632, von Ost nach West stellt,


Fig. 632.

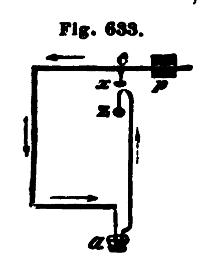
weil die Windungen in der Ebene von *ab* liegen.

Ein solcher Schraubendraht, wie Figur 620, verhält sich auch in der Beziehung vollkommen wie ein Magnet, dass er Eisenfeile anzieht, die sogleich abfällt, wenn der elektrische Strom unterbrochen wird.

§. 507.

Ein um eine vertikale Achse beweglicher Strom wird durch den Einfluss des Erdmagnetismus nach West gerichtet, wenn er aufsteigend ist, und nach Ost, wenn er niedersteigend ist. Dieser Satz ist schon in §. 496 enthalten.

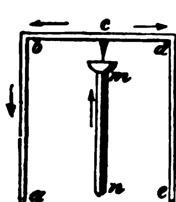
Der Leiter, Fig. 633, wird mit der Stahlspitze *c* in dem Schälchen *x* des *Ampère*'schen Gestelles aufgehängt; sein anderes Ende taucht in ein Schälchen *a* mit Quecksilber, von welchem der elektrische Strom durch den vertikalen Draht *az* nach *z* geht. *p* ist ein Gegengewicht, um die Lage des Schwerpunkts in die Vertikallinie *b* zu bringen. Da die Wirkung des Erdmagnetismus auf die horizontalen Ströme gleich und entgegengesetzt ist, so erfolgt die Bewegung des Leiters nur vermöge des vertikalen Stromes in der oben angegebenen Art.


Fig. 633.

§. 508.

Ein horizontaler, begränzter Strom, der um eine vertikale Achse beweglich ist, geräth durch den Erdmagnetismus in eine beständige Drehung, und zwar von Ost nach Nord, wenn er sich von seiner Achse entfernt, und von Ost nach Süd, wenn er sich ihr nähert. Auch dieser Satz ist schon im §. 495 erwiesen, wenn man dort für den unbegränzten Strom den von Ost nach West gehenden Erdstrom substituirt.

Um diese Wahrheit in der Erfahrung nachzuweisen, wendet man den Leiter *abcde*, Fig. 634, an. Er wird in dem Apparate, Fig. 610, so aufgehängt, dass die Spitze *c* in das Schälchen *m* taucht, und die zugespitzten Enden *a* und *e* in die gesäuerte Flüssigkeit hinabreichen. Die Flüssigkeit wird mit dem einen Pole einer starken Kette, das Schälchen *m* mit dem andern in Verbindung gesetzt. Da die beiden vertikalen Ströme nach §. 496 keine Bewegung veranlassen, so erfolgt die Drehung nur vermöge der horizontalen Ströme *cb* und *cd*. Hiezu ist eine starke *Volta*'sche Kette nothwendig.


Fig. 634.

E. Erregung elektrischer Ströme durch den Erdmagnetismus.

§. 509.

Nach denselben Gesetzen, nach welchen ein elektrischer Strom in einem metallischen Leiter einen elektrischen Strom erregt, wenn sie

einander genähert oder von einander entfernt werden, wirkt auch der mit dem magnetischen Aequator parallel angenommene Erdstrom. Wäre also auch das Dasein eines solchen Stromes in der Erde nicht erwiesen, so gewinnt es doch an Wahrscheinlichkeit, wenn die Erscheinungen der Induction dieser Annahme gemäss erfolgen. *Faraday* wies die Induction durch den Erdmagnetismus auf mehrere Arten nach. Folgender Versuch zeigt sie am besten: Man nimmt einen Kupferdraht von 8 Fuss Länge und $^1/_{20}$ Zoll Durchmesser, und biegt ihn rechtwinklicht, wie in Fig. 635. Die beiden Enden a und c verbindet man mit denen eines Multiplicator-Drahtes. Der Multiplicator stehe in c. Ferner richtet man es so ein, dass pq oder der obere Theil des Rechteckes um den untern Theil rs gedreht werden kann, während dieser in Ruhe bleibt, oder die Achse für diese Drehung angibt. Erhält nun rs eine mit dem magnetischen Aequator parallele Lage, und dreht man pq rasch von Nord nach Süd, nähert es also dem angenommenen elektrischen Erdstrome, so gibt die Nadel des Multiplicators das Entstehen eines Stromes in pq zu erkennen, welcher dem Erdstrome entgegengesetzt ist, und also von West nach Ost läuft. Dreht man aber pq um rs von Süd nach Nord, so ist der in pq entstehende Strom von Ost nach West gerichtet. Dieser Satz folgt einfach aus §. 500, wenn man das Dasein eines elektrischen Stromes im magnetischen Aequator, also südlich von pq, nach §. 503 voraussetzt.

Fig. 635.

Man kann diesen Versuch leichter anstellen, wenn man den Draht pq unterhalb so anbringt, dass man ihn in Schwingungen von Nord nach Süd und umgekehrt versetzen kann, welche mit denen der Nadel im Multiplicator isochronisch sind. Dadurch werden letztere immer stärker und zuletzt sehr deutlich. Auch ist es zweckmässig, statt eines einfachen Drahtes $rpqs$ einen Multiplicatordraht mit vielen Windungen zu nehmen.

Palmieri brachte durch Induction vermittelst des Erdmagnetismus physiologische Wirkungen, Wasserzersetzung und Funken hervor, indem er eine Spirale von 200 Windungen auf einen Rahmen wickelte, welcher die Form einer Ellipse hatte, deren grosse Achse 2,2 Meter, und deren kleine 0,6 Meter lang war. Diese Spirale wurde um die grosse, gegen den magnetischen Meridian senkrecht gestellte Achse der Ellipse gedreht. Eine solche Spirale ist viel wirksamer als eine kreisförmige von gleichem Umfang.

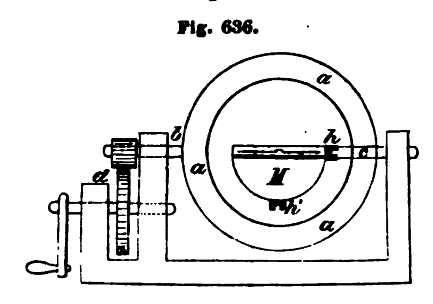
§. 510.

Wenn man dem im vorigen §. beschriebenen Apparate irgend eine andere Richtung gegen den magnetischen Meridian gibt, und den Kupferdraht pq bewegt, so erfolgen alle Ercheinungen dem im §. 500 angegebenen Gesetze gemäss. Hat z. B. rs die Richtung von Süd nach Nord, und dreht man pq von Ost nach West, so gibt die Magnetnadel in dem Multiplicator c das Entstehen eines Stromes an, der in pq von Nord nach Süd geht; und dreht man pq von West nach Ost, so geht der inducirte Strom in pq von Süd nach Nord.

Um diese Erscheinung unmittelbar aus dem (§. 500) aufgestellten Gesetze zu erklären, denke man sich, der Strom in pq gehe von Nord nach Süd und sei beweglich, so sucht ihn nach §. 496 der von Ost nach West gehende Erdstrom von West nach Ost zu drehen. Dreht man ihn daher von West nach Ost, so muss dem ctions-Gesetze, §. 500 gemäss, der dem obigen entgegengesetzte Strom von Süd

nach Nord entstehen. Das von *W. Weber* erfundene Inductions-Inclinatorium, Figur 636, ist eine höchst scharfsinnige Anwendung des obigen Gesetzes. Ein kupferner Ring *aaa* kann durch die Achse *b* um den festen Zapfen *c* mittelst eines Getriebes *d* schnell gedreht werden. An dem Zapfen *c* ist eine Boussole durch die Hülse *h* befestigt. Wenn die Achse, wie in der Zeichnung, eine horizontale Lage hat, und man bringt sie in die Richtung des magnetischen Meridians, so wird, wenn man den Kupferring so dreht, dass sein oberer Theil sich von Ost nach West bewegt, durch den vertikalen Theil der erdmagnetischen Kraft in dem Kupferring ein Strom inducirt, welcher den Nordpol der Nadel nach Ost ablenkt. Wird aber das Instrument und damit die Achse vertikal gestellt, und die Boussole mittelst der Hülse *h'* auf den Zapfen *c* befestigt, so erfolgt bei der Drehung des Kupferrings eine Ablenkung der Boussole vermöge des horizontalen Theils der erdmagnetischen Kraft. Die Tangente der Inclination ist alsdann dem Verhältniss der Tangenten dieser beiden Ablenkungen gleich, weil die Tangenten der Ablenkungen den ablenkenden Kräften proportional sind. Der Antheil, welchen die Magnetnadel der Boussole selbst an dem inducirten Strome hat, muss aber zuvor ausgemittelt und von dem Gesammtbetrag der Ablenkung abgezogen werden, welches jedoch nur mittelst mehrerer Versuche und Rechnungen geschehen kann. Will man jedoch die Inclination eines Ortes bloss mit der schon bekannten eines andern vergleichen, so gibt es kein bequemeres und genaueres Instrument, als dieses. Denn ist z. B. die Inclination zu Göttingen = 67° 50', und betrug die Ablenkung der Nadel bei 166 horizontalen Umdrehungen der Achse in einer Minute 5° 36', und nennt man die Inclination eines andern Ortes x, an welchem mit demselben Instrument, bei derselben Zahl der Umdrehungen, die Nadel um 5° 28' abwich, so ist

Fig. 636.



$$\frac{tg\,.\,x}{tg\;67^{0}\,50'} = \frac{tg\,.\,5^{0}28'}{tg\,.\,5^{0}36'},$$

weil die Tangenten der Ablenkung den Tangenten der Inclination proportional sind.

§. 511.

Faraday nahm eine Kupferscheibe und bewirkte durch einen angebrachten Mechanismus eine schnelle horizontale Drehung derselben. Der Rand der Scheibe war amalgamirt und konnte durch Berührung mit einem gleichfalls amalgamirten Kupferstreifen, während der Drehung, seine Elektrizität an diesen abgeben. Dieser Kupferstreifen stand mit dem einen Ende eines Multiplicatordrahtes, und die Achse der Scheibe mit dem andern Ende in Verbindung. Drehte sich nun die Scheibe in der Richtung der Zeiger einer Uhr, deren Zifferblatt oben ist, so entstand in der Scheibe ein Strom, der von der Achse zum Umfange der Scheibe ging, und drehte sich die Scheibe in umgekehrter Richtung, so ging der Strom vom Umfange nach der Mitte. Auch diese Erscheinung stimmt mit dem Inductionsgesetze §. 495 und 500 und mit der Annahme eines elektrischen Erdstromes vollkommen überein.

F. Gegenseitige Wirkung der elektrischen Ströme und Magnete.

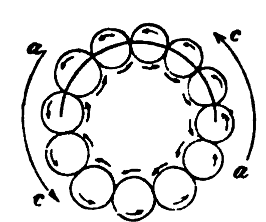
§. 512.

Zwischen der magnetischen Kraft eines Eisens und den elektrischen Strömen findet eine solche Wechselwirkung statt, dass man alle Erschei-

nungen derselben durch folgendes von *Ampère* aufgestellte allgemeine Gesetz ausdrücken kann: *Ein elektrischer Strom wirkt auf einen Magnet wie auf einen elektrodynamischen Cylinder oder auf einen Körper, um dessen Achse elektrische Ströme nach einer Richtung und in Ebenen kreisen, welche zu ihr senkrecht oder beinahe senkrecht sind.* Der Südpol einer Magnetnadel ist das Ende eines Cylinders, an welchem die Ströme die im §. 498 angegebene Richtung haben, wie die Zeiger einer Uhr. Diese Bezeichnung ist schon durch den §. 506 gerechtfertigt.

Da jedes Stückchen eines zerbrochenen Magnets wieder ein Magnet ist, so muss man annehmen, dass jedes kleine Theilchen desselben von einem elektrischen Strome umkreist werde. Ist nun Fig. 637 der Durchschnitt eines cylindrischen Magnets, und stellen die kleinen Kreise die elektrischen Ströme vor, welche nach der Richtung der Pfeile jedes seiner Moleküle umkreisen, so ist die Gesammtwirkung derselben der eines Hauptstromes gleich, welcher wie ac den ganzen Durchschnitt umkreist. Die Wirkung der Molekularströme im Innern hebt sich nahezu auf. Die obige Vorstellung *Ampère's* von dem Magnete wird daher durch die so eben angegebene Eigenschaft desselben nicht widerlegt. Denkt man sich, der Länge des Magnets nach, eine Reihe solcher kreisförmigen kleinen Ströme parallel neben einander, so bilden sie eine Röhre, die man, nach §. 498, ein Solenoïd nennt. Eine Vereinigung solcher geraden oder gebogenen Solenoïde stellt einen geraden oder gebogenen Magnet vor.

Fig. 637.



Um das Magnetischwerden eines unmagnetischen Eisens zu erklären, muss man entweder die Molekule für unbeweglich halten und annehmen, dass die elektrischen Ströme um sie in beliebiger, also auch nach gleicher Richtung in Bewegung gesetzt werden können, oder man muss annehmen: *dass die Molekule drehbar und von beharrlichen elektrischen Strömen umflossen sind.* Die letzte Annahme ist die wahrscheinlichste. Ein Eisen wird nach ihr magnetisch, wenn die Molekule sich alle oder grossentheils so drehen, dass die Achsen der sie umkreisenden elektrischen Ströme einander parallel werden, und die Ströme nach einerlei Richtung gehen.

§. 513.

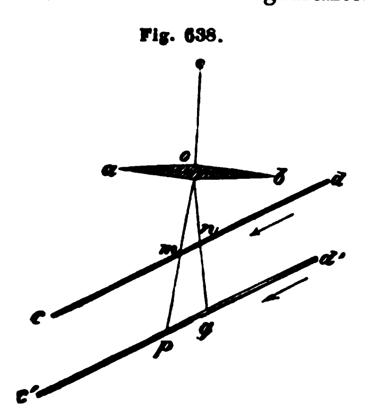
Dass die Wirkung eines geradlinigten, unbeweglichen Stromes auf einen beweglichen Magnet dieselbe ist, wie auf einen elektrodynamischen Cylinder, wurde schon im §. 498 als eine einfache Folge der dort erwähnten Gesetze dargestellt. Ist dagegen der Magnet fest, und der elektrische Strom beweglich, so erfolgt in diesem so lange eine Drehung nach irgend einer Richtung, als die im Magnete angenommenen Ströme den beweglichen Strom in parallele Lage zu versetzen suchen. Legt man z. B. unter einen beweglichen Strom einen Magnetstab, so muss sich der Strom senkrecht zu diesem stellen, und der Nordpol links von dem im Strome Schwimmenden liegen, weil dann erst der Hauptstrom um den Magnet im obern Theil des letztern mit dem Strom im beweglichen Leiter gleich gerichtet ist. Zur Erklärung der Richtung, in welcher

ein Strom von den Polen eines Magnets, die ihm in verschiedenen Lagen genähert werden, angezogen oder abgestossen wird, bediene man sich des im §. 498 beschriebenen Cylinders von Holz, und zur Hervorbringung der Erscheinungen, des Leiters (Fig. 618 oder 619) und eines kräftigen Magnetstabes.

§. 514.

Um das Gesetz über die Wirkung eines elektrischen Stromes auf die Magnetnadel in verschiedenen Entfernungen kennen zu lernen, stellten *Biot* und *Savart* die ersten Versuche an. Sie fanden, *dass die Wirkung des Stromes auf die Magnetnadel im umgekehrten Verhältniss steht mit der Entfernung derselben.* Dieses Gesetz gilt inzwischen nur für die Wirkung der ganzen Länge des *elektrischen Stromes;* desshalb steht es aber in keinem Widerspruch mit dem früher erwähnten Grundgesetz, dass die elektrische Wirkung eines Theilchens auf ein anderes mit dem Quadrat der Entfernung abnehme. Denn ist mn, Fig. 638, irgend ein Theilchen des Leitungsdrahtes cd und pq das in gleicher Richtung auf den Mittelpunkt o der Magnetnadel wirkende Theilchen eines entfernteren Leitungsdrahtes $c'd'$, in welchem der Strom gleiche Stärke hat, und verhalten sich die Entfernungen von o wie r zu R, so verhält sich auch $mn : pq = r : R$, ebenso verhalten sich die Elektrizitätsmengen e und E auf mn und pq. Die Wirkungen auf den Magnet o verhalten sich aber wie $\frac{e}{r^2} : \frac{E}{R^2}$, also wie $\frac{r}{r^2} : \frac{R}{R^2}$ oder wie $R : r$. Zieht man mehrere solche Linien wie op und oq, so findet man, dass für die zwischen ihnen liegenden Stücke der Linie cd und der Linie $c'd'$ dasselbe gilt, und da die sehr weit entfernten Theile von cd und von $c'd'$ keinen Einfluss mehr haben, so ist also die Gesammtwirkung aller Theile der beiden Ströme gleich dem Verhältniss von $R : r$.

Fig. 638.



Um obiges Gesetz durch einen Versuch nachzuweisen, spannt man einen langen Draht cd über den Tisch in einer zum magnetischen Meridian senkrechten Richtung und hängt darüber eine Magnetnadel ab an einem Seidenfaden in z. B. 10 Centim. Entfernung auf. Lässt man sie schwingen und macht sie in einer Minute 15 Schwingungen, so wird nach §. 388 der Einfluss des Erdmagnetismus allein ausgedrückt durch die Zahl 15^2. Leitet man nun den Strom einer constanten Kette durch den Draht cd in der durch den Pfeil angegebenen Richtung, und ist a der Nordpol der Magnetnadel, so sucht dieser Strom die Nadel in derselben Lage zu erhalten, wie der Erdmagnetismus. (Vergl. §. 437.) Sie schwingt also jetzt unter dem Einfluss der vereinigten Kraft des Stroms und des Erdmagnetismus. Macht sie also jetzt 32 Schwingungen in einer Minute, so wird die Wirkung des Stromes allein ausgedrückt durch $32^2 - 15^2 = 799$. Entfernt man sie nun bis ihr Abstand von dem Draht cd das Doppelte beträgt, so wird sie unter dem

Einfluss des Stromes und des Erdmagnetismus nur 25 Schwingungen in einer Minute machen. Der Einfluss des Stromes ist also dann nur $25^2 - 15^2 = 400$ oder nur halb so gross als in dem einfachen Abstand.

§. 515.

Einige andere Erscheinungen über die Wechselwirkung der Ströme und Magnete mögen hier noch ihre Stelle finden; nicht einer vollständigen Aufzählung aller denkbaren Fälle wegen, sondern um die Vollständigkeit der *Ampère*'schen Theorie zu zeigen.

In einem Holzrähmchen, Fig. 639, dessen vordere und hintere Seite durch eine Glasplatte geschlossen ist, befinden sich die beiden Pole eines Hufeisenmagnets, welcher in horizontaler Lage von der Seite hineingeschoben werden kann. Zwischen diesen Polen hängt ein Goldblättchen schlaff herab, welches oben und unten an zwei vertikale Messingdrähte mit Eiweiss angeklebt ist, und durch die an dem durchbohrten Draht bei *a* befindliche Klemmschraube mehr oder weniger gehoben werden kann. Die Klemmschrauben *c* und *d* stehen durch Messingstreifen mit den Drähten *b* und *a* in leitender Verbindung. Setzt man nun *c* mit dem positiven Pol und *d* mit dem negativen Pol einer noch so schwachen Kette in Verbindung, und liegt der Nordpol des Hufeisens auf der hintern Seite des Rähmchens, so wird das Goldblättchen von dem Magnet abgestossen und auswärts getrieben, weil die hypothetischen Ströme des Hufeisens, welche ihm am nächsten sind, aufwärts gehen, und der Strom in dem Goldblättchen abwärts geht. Leitet man aber den Strom von *a* nach *b*, so wird das Goldblättchen nach der Biegung des Hufeisens einwärts getrieben, weil dieser Strom mit den ihm zunächst liegenden Strömen des Magnets gleichgerichtet ist. Kehrt man die Lage des Magnets um, so ist auch seine Wirkung umgekehrt. Hierauf beruht das Elektrometer oder Galvanometer von *Cummings*, welches eben so empfindlich gemacht werden kann als das von *Schweigger*. Der Unterschied besteht nur darin, dass dort der Strom fest und der Magnet beweglich, hier aber der Magnet fest und der Strom beweglich ist.

Fig. 639.



Eine Magnetnadel, welche lothrecht aufgehängt ist, wird von einem horizontalen Strome zwischen ihren Polen angezogen, wenn der Nordpol der Nadel links von der im Strome schwimmenden und mit dem Gesichte nach dem Magnet gerichteten Person liegt. Im andern Falle wird sie abgestossen.

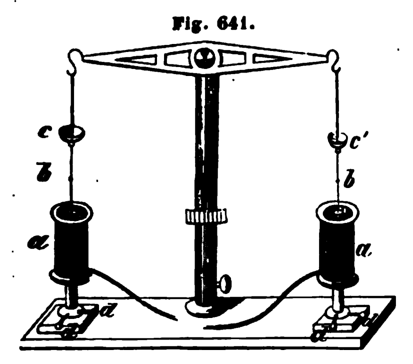
Fig. 640.

Wenn man einen Strom durch einen Leiter, wie Fig. 640, gehen lässt, und in die Mitte der kreisförmigen Enden einen Magnet bringt, so stellt sich der Leiter senkrecht zur Mitte des Magnets, wenn die Ströme *Ampère's* in dem Magnet gleiche Richtung haben, weil er von beiden Hälften des Magnets angezogen wird. Im umgekehrten Fall

wird der Leiter von beiden Hälften des Magnets abgestossen, und entfernt sich darum, wenn man die Mitte nicht genau trifft, nach dem einen oder andern Ende des Magnets.

Die von *Becquerel* angegebene elektromagnetische Waage, Fig. 641, ist eine Anwendung der anziehenden oder zurückstossenden Kraft, welche der elektrische Strom, wenn er eine Spirale durchläuft, auf die Pole eines Magnets ausübt, der zum Theil in der Spirale sich befindet. Die Spiralen *aa* von Draht sind auf offene Glasröhren gewunden. An den Drähten *bb* hängen zwei Magnete von gleicher Stärke, deren Nordpole nach unten gekehrt sind. Diese Magnete können sich in der Glasröhre auf und ab bewegen, ohne anzustossen. Die Schalen *cc'* dienen zum Auflegen von Gewichten. Die beiden Spiralen bestehen aus einem Drahte, welcher in der einen nach der entgegengesetzten Richtung gewunden ist, als in der andern. Geht nun ein elektrischer Strom hindurch, so wird der Nordpol des einen Magnets abgestossen, während der des andern angezogen wird. Die Kraft dieses Stroms ergibt sich aus den Gewichten, welche man in *c* oder *c'* zulegen muss, um das Gleichgewicht herzustellen. Diese Waage ist jedoch nur für Ströme von grösserer Intensität brauchbar und kann alsdann auch benutzt werden, um die Kraft der Ströme zu berechnen, welche die Nadel des Multiplicators um eine gewisse Anzahl von Graden ablenken. Bei *dd* sind Schrauben, durch welche die Spiralen genau gerichtet werden können, damit der Magnetstab nicht an den innern Wänden des Glases anstosse. Da bei dieser Waage Oscillationen nicht zu vermeiden sind und diese den Erfolg haben, dass wenn sie nach der anziehenden Seite gerichtet sind, die anziehende Kraft zu-, die abstossende abnimmt, so hat *Jacobi* dieselbe auf folgende Weise abgeändert: Der eine Magnetstab befindet sich *über*, der andere *unter* der elektromagnetischen Spirale, und es wirken daher auf beide Enden des Waagbalkens abstossende Kräfte, die ihn nach gleicher Richtung bewegen.

Fig. 641.



§. 516.

Zwischen einem elektrodynamischen Cylinder und einem Magnete findet dasselbe Gesetz statt, wie zwischen zwei Magneten, oder zwischen zwei elektrodynamischen Cylindern. Gleichnamige Pole stossen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an. Zu den Versuchen hierüber kann man den Apparat (Fig. 620 oder Fig. 621) nehmen.

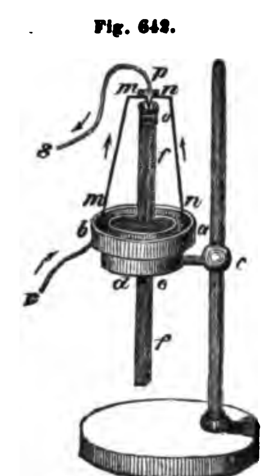
Stellt man eine Drahtspirale durch die ein Strom geht, so auf, dass z. B. ihr Südpol oben ist, und hält man darüber ein Magnetstäbchen, dessen Südpol unten ist, so wird dieses lebhaft nach der Mitte der Spirale gezogen. Nimmt man aber statt der Drahtspirale einen der Länge nach durchbohrten Magnetstab der mit einem Glasröhrchen ausgefüttert ist, so wird unter gleichen Voraussetzungen eine magnetisirte Nadel herausgestossen, weil die Molekularströme im Innern, wie Fig. 637 zeigt, einen Strom nach entgegengesetzter Richtung bilden.

§. 517.

Wenn ein vertikaler Magnet parallel mit einem beweglichen und von Elektrizität durchströmten Leiter ist, dessen Drehungsachse in die Verlängerung der Achse des Magnets fällt, so ertheilt er diesem Leiter eine fortwährende Drehung.

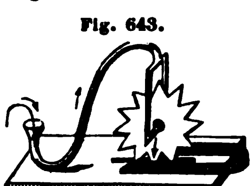
Um diesen Satz durch den Versuch nachzuweisen, bedient man sich des in Fig. 642 abgebildeten Apparates, dessen Gestell man noch zu mehreren anderen Apparaten anwenden kann, welche später vorkommen. Oder man kann ihn auch auf dem *Ampère*'schen Gestell, Fig. 590, befestigen. Eine kreisförmige Rinne *ab* von Holz kann mittelst der Schraube *c* an einem vertikalen Messingstabe hoch oder nieder gestellt werden. Auf dieser Rinne ruht ein hölzerner concentrischer Cylinder *de*, welcher den Magnetstab *ff* trägt. An dem obern Ende dieses Magnetstabes ist ein Schälchen *o* aufgeschraubt, welches die Spitze des kupfernen Leiters *mn* aufnimmt. Auf diesem ist ein zweites Schälchen *p* angelöthet. Die Rinne *ab*, sowie das Schälchen *p* enthalten Quecksilber. Die Oberfläche des Quecksilbers in *ab* wird von den Spitzen des Leiters kaum berührt. Leitet man durch den Draht *r* einen Strom in die Rinne, so geht dieser in den kupfernen Schenkeln *mm*, *nn* hinauf nach dem Schälchen *p*, und von dort durch den Draht *s* nach dem negativen Pole der Kette. Ist nun der Südpol des Magnets oben, so dreht sich der Leiter *mn* um denselben, wie der Zeiger einer Uhr, und ist der Nordpol oben, in entgegengesetzter Richtung. Die drehende Wirkung des Magnets erstreckt sich auch auf den elektrischen Lichtbogen wie später gezeigt werden wird.

Fig. 642.



Hierher gehört auch das *Barlow*'sche Rad, Fig. 643. An einem gabelförmig ausgeschnittenen Polardrahte ist ein sternförmiges Rädchen angebracht, dessen Spitzen in ein Quecksilbergefäss herabgehen. Zu beiden Seiten desselben liegen die Pole eines Hufeisenmagnets. Leitet man durch das Quecksilber einen elektrischen Strom, welcher vom Umfang zum Mittelpunkte des Rädchens geht, während der Nordpol des Magnets z. B. vor dem Rädchen westlich und der Südpol östlich davon liegt, so dreht sich das Rad in der Richtung der Zeiger einer Uhr, deren Zifferblatt nach West gerichtet ist, weil die dem Rade nähern, niedergehenden Ströme des Magnets die aufwärtsgehenden des Rades abstossen. Kehrt man den Magnet oder den Strom um, so ist die Richtung der Drehung der vorigen entgegengesetzt. Es beruht die Drehung des Rädchens offenbar auf demselben Princip, auf welchem das in §. 515 beschriebene Elektrometer von *Cummings* beruht.

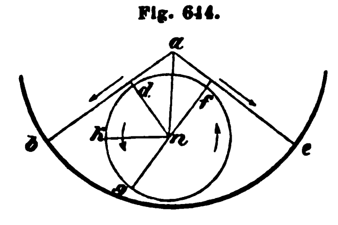
Fig. 643.



§. 518.

Ein vertikaler Magnetstab kann sich um einen parallelen Strom drehen, welcher ausserhalb seiner Achse befindlich ist. Denn ist *a*, Fig. 644, das Ende eines zur Ebene des Papiers senkrechten Stromes, welcher sich von *a* aus nach allen Seiten, also nach *ab*, *ae* u. s. w. in dieser Ebene vertheilt, und *n* der Querschnitt vom Nordpole eines Magnets, so wirkt der Strom *ab* anziehend auf *d*, und *ae* abstossend auf *f*. Drückt man durch *nd* die Anziehung von

Fig. 644.



d, und durch *ng* die Abstossung von *f* aus, so wirken auf *n* zwei gleiche Kräfte; die eine nach *nd*, die andere nach *ng*; daher muss sich *n* nach der Richtung *nk* bewegen. Dasselbe ist für jede folgende Stelle anwendbar, und der Magnet muss daher stets in seiner zum Radius *an* senkrechten Richtung fortgehen.

Fig. 645.

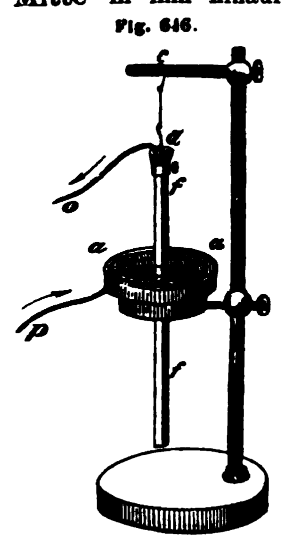
Faraday bewirkte diese Rotation auf folgende Art: Ein cylindrisches Gefäss von Glas *a*, Fig. 645, wird bis zu dem metallenen Ringe *fg*, der seinen innern Rand umgibt, mit Quecksilber gefüllt. Der vertikale Draht *c* leitet den elektrischen Strom in die Mitte der Oberfläche des Quecksilbers. Von hier aus verbreitet sich dieser Strom nach allen Seiten zu dem Rand *fg*, und geht durch den daran gelötheten Draht *b* fort. In dem Quecksilber schwimmt ein Magnetstab *d*, welcher durch eine daran befestigte Platinmasse in lothrechter Stellung erhalten wird. Den Erfolg, wenn der Strom vom Rande nach der Mitte geht, kann man nach dem Gesagten leicht voraussehen.

Diejenigen, welche der *Ampère*'schen Theorie nicht beistimmen, legen den **Satz:** dass der Nordpol eines Magnets sich um einen elektrischen Strom nach der **einen**, und der Südpol nach der entgegengesetzten Richtung zu drehen sucht, als ein **Erfahrungsgesetz** den übrigen Erscheinungen zu Grunde. Hier tritt er als eine **Folge** des Frühern auf, ohne dass desshalb die *Ampère*'sche Theorie für mehr als eine **Hypothese** zu nehmen ist, um die vielen Erscheinungen unter einem Gesichtspunkt leichter zu behalten.

§. 519.

Ist ein Magnet um seine vertikale Achse drehbar, und leitet man **einen** Strom durch ihn von oben bis zu seiner Mitte, so dreht sich der **Magnet** wie der Zeiger einer Uhr, wenn der Nordpol oben ist, und **umgekehrt**, wenn sein Südpol oben ist. Leitet man den Strom von der **Mitte** in ihm hinauf, so entsteht eine entgegengesetzte Drehung. Um diese Erscheinung zu erklären, scheint die *Ampère*'sche Theorie nicht ganz zu genügen, wie zuerst *W. Weber* bemerkt hat, indem ein System unveränderlich mit einander verbundener Punkte sich nicht durch innere Kräfte in Bewegung setzen könne. Nimmt man jedoch an, dass der Strom nicht an die Stahltheilchen gebunden sei und dass, wegen der ungleichen Vertheilung des Magnetismus, der Nordpolmagnetismus durch einen horizontalen Strom vorgestellt werde, der nahezu an dem obern Ende liegt, so wird die Wirkung eines abwärts gehenden Stromes, der in der Mitte sich entfernt, vermöge seiner Entfernung von ihm grösser sein, als die seiner Annäherung an den untern. In diesem Fall muss also eine Drehung in der Richtung der Zeiger einer Uhr nach §. 496 erfolgen.

Fig. 646.



Diese Drehung eines Magnets um sich selbst kann durch den Apparat, Fig. 646, bewirkt werden. *aa* ist eine mit Quecksilber gefüllte, kreisförmige

Rinne von Holz. Der Magnetstab *ff* hängt an einem Seidenfaden *cd* und trägt oben ein Schälchen mit Quecksilber. Ein Strom, welcher durch den Draht *p* in das Quecksilber und von da durch den Leiter *e*, der senkrecht zum Magnet befestigt ist, in den letztern geht, gelangt in das Schälchen bei *d* und von da zum negativen Pole der Kette und bewirkt dadurch die Rotation des Magnets um sich selbst.

§. 520.

Davy hat auch in flüssigen Leitern, durch die Wirkung des Magnetismus auf elektrische Ströme, eine Rotation hervorgebracht. Sie gelingt schon mit *einem Grove*'schen Element auf folgende Art: Man nimmt den Deckel einer runden Pappschachtel und macht in der Mitte ein rundes Loch. In dieses befestigt man eine Dille, durch die man einen Magnetstab stecken kann. Darauf giesst man in den Deckel 1 bis 2 Linien hoch Quecksilber. Zwei Drähte, welche von den Polen einer Kette kommen, werden so darüber befestigt, dass sie senkrecht in das Quecksilber hinabreichen; der eine, z. B. der positive Draht, am Rande, der andere nahe an der Mitte. Steckt der Magnet so in der Dille, dass sein Südpol oben und seine Mitte mit der Quecksilberfläche ungefähr in gleicher Höhe ist, so muss nach §. 494 das Quecksilber rotiren, umgekehrt wie die Zeiger einer Uhr, weil ein in *m*, Fig. 647, senkrecht zur Ebene des Papiers niedersteigender Strom durch *S* nach *mn* getrieben wird und der nahe bei *S* aufsteigende Strom *p* die Rotation von *mn* nicht aufheben kann. Senkt man den Magnetstab in der Dille, so wird die Rotation schwächer und hört ganz auf, wenn der Stab bis zu einem gewissen Punkt in der Nähe des obern Endes eingesenkt ist.

Fig. 647.



Bei tieferem Einsenken wird die Rotation des Quecksilbers umgekehrt. Dasselbe ist der Fall, wenn der Stab über das untere Ende gehoben wird. Die Ursache dieser Umkehrung in der Rotation ist darin zu suchen, dass sie das Resultat der Wirkung nicht nur von den zunächstliegenden, sondern von allen Strömen des Magnets auf die galvanischen des Quecksilbers ist. Von solchen Strömen, die beträchtlich unter oder über der Quecksilberfläche liegen, ist aber die Wirkung nicht mehr so einfach vorauszusehen und geht in die entgegengesetzte über, sowie die Entfernung eine gewisse Grösse erreicht, ohne dass die *Ampère*'sche Theorie damit im Widerspruch steht, wie durch Rechnung gezeigt werden kann.

Folgender Versuch von *Jamin* zeigt die Rotation von Flüssigkeit und Gasen. Man bringt zwischen die Pole *N* und *S*, Fig. 648, eines horizontalen, kräftigen Elektromagnets einen Wasserzersetzungsapparat, bei welchem die Polardrähte von unten in das Wasser hineinragen und in einer Ebene mit der Verbindungslinie der Pole liegen. Ist nun Fig 649 ein horizontaler Durchschnitt der vorigen Figur und stellen die Pfeile bei *N* und *S* die hypothetischen Ströme um den Nord- und Südpol, *p* und *m* die Querschnitte der Polardrähte vor, so muss ein bei *p* senkrecht zur Ebene des Papiers über dasselbe aufsteigender Strom durch *N* nach der Richtung *pq* bewegt werden. Ebenso muss der durch den andern

Fig. 648.

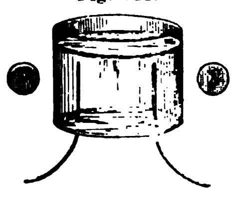


Fig. 649.



Polardraht bei *m* niedersteigende Strom durch *S* nach der Richtung *mn* bewegt werden; es muss also zwischen *p* und *m* um die Mitte *c* eine Rotation in der Richtung des Zeigers einer Uhr entstehen und umgekehrt, wenn die Pole verwechselt werden. Diess zeigt der Versuch auch in der That sehr deutlich, indem die an ›lardrähten entwickelten Gase durch die Rotation der Flüssigkeit mit ihr in r Richtung fortgerissen werden. Auch der Einfluss des Erdmagnetismus bei Anwendung eines starken Stromes schon ohne Magnet eine solche Rota-›rvor, indem die Erde bei uns wie ein Südpol wirkt, der unter der Oberfläche ecksilbers ist.

Poggendorff hat in obigem Betreff noch folgenden Versuch angestellt. Auf ›rtikale Kupferspirale, in welche ein weiches Eisen gesteckt war, stellte er hrschale mit etwas Quecksilber. In die Mitte desselben tauchte eine Draht-etwas ein. An dem Rande eine andere. Als nun ein Strom durch die Spi-ıd die beiden Drähte geleitet wurde, entstand eine so lebhafte Rotation, dass ;e der Centrifugalkraft das Quecksilber in der Mitte sank und die Spitze nehr berührte, bis in Folge vom Aufhören des Stromes diese wieder mit dem ilber in Berührung kam.

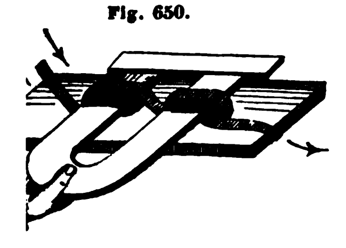
Bertin hat den Rotations-Versuch mit Flüssigkeiten in folgender Weise sehr ›h gemacht: Die Flüssigkeit befindet sich zwischen zwei concentrischen ringen und der Magnetstab oder ein Elektromagnet, oder ein Solenoïd in der Die Ringe werden mit den Polen der Kette in Verbindung gesetzt und durch ieben des Magnets die Rotation in verschiedenen Richtungen bewirkt, wie sie ıpère'sche Theorie fordert.

›rregung des Magnetismus durch elektrische Ströme oder Elektromagnetismus.

§. 521.

Kurz nachdem *Oersted's* Entdeckung bekannt geworden war, fand ›, dass ein Kupferdraht, durch welchen ein starker elektrischer geht, Eisenfeile anzieht, und dass die Eisentheilchen Ringe um e um einen Transversal-Magnet bilden, deren Breite von der Stärke tromes abhängt. Kleine Stahlnadeln werden durch einen solchen magnetisch und stellen sich senkrecht dazu. Daraus, und weil 'irkung auf den Magnetismus durch mehrere Ströme verstärkt ist, dass man grössere Stahlnadeln stärker magnetisch machen wird, man sie in einen elektrodynamischen Cylinder bringt und durch einen Strom gehen lässt. Ihr Nordpol entsteht da, wo nach › der Nordpol des Schraubencylinders liegt. Gerade Stahlstäbe ›tisirt man am besten durch das folgende, von *Elias* angegebene ıren: Man nimmt einen übersponnenen Kupferdraht von 25 bis

Fig. 650.



30 Fuss Länge, von etwa $^1/_8$ Zoll Durchmesser, oder ein kupfernes Band von gleicher Länge und gleichem Querschnitt, und windet den einen oder das andere in der Weite des Stabes zu einer Rolle auf. In diese steckt man den Stahlstab, während der Strom einer kräftigen Kette durch dieselbe circulirt, und bewegt ihn darin bis an die Enden auf und nieder. Zuletzt

öffnet man die Kette, wenn der Stab sich mit seinem mittlern Theil in der Rolle befindet. Auf hufeisenförmige Stahlstäbe kann man mit grossem Vortheil dasselbe Verfahren anwenden; nur ist es besser, das kupferne Band wie in Fig. 650 aufzuwinden, und nachdem beide Schenkel durch die Ringe des Gewindes gesteckt sind, einen Anker von weichem Eisen vorzulegen. Wenn der Strom in dem Band circulirt, wird das Hufeisen mehrmals hin- und hergeführt, und erst nachdem die Kette wieder geöffnet ist, der Anker weggenommen.

Man windet zu *Arago's* Versuch einen Kupferdraht um eine Glasröhre in Schraubenform. Bringt man nun in die Glasröhre eine Stahlnadel, so ist sie im Augenblicke magnetisch, wo der Strom beginnt. Dasselbe erfolgt, wenn man eine Leidner Flasche durch den spiralförmigen Draht entladet. Windet man den Draht nur bis zur Mitte der Nadel nach *einer* Richtung, so erhält die Nadel an den Enden zwei gleichartige Pole. Windet man ihn aber bald rechts bald links, so entstehen Folgepunkte. *Arago* fand, dass im Innern eines Schraubendrahtes, der eng gewunden und hinreichend lang im Verhältnisse zu seinem Durchmesser ist, die mit der Achse parallel liegenden Nadeln fast an jeder Stelle der Glasröhre gleichstark magnetisch werden; dass aber aussen die erlangte Kraft sehr gering ist, und um so schwächer wird, je länger die Drähte, und je enger die Windungen sind.

Um sich die von *Savary* und Andern gemachte Beobachtung zu erklären, dass eine gehärtete Stahlnadel durch das Entladen der Leidner Flasche an derselben Stelle bald einen Nordpol bald einen Südpol erhält, darf man sich nur erinnern, dass das Entstehen des Stroms Ströme in entgegengesetzter Richtung, das Vergehen desselben Ströme von gleicher Richtung erzeugt. Die Polarität oder der Magnetismus der gehärteten Stahlnadel ist schwer zu überwinden. Hat also das Entstehen des Stroms in ihr dauernde Ströme erzeugt, so vermag sie das Vergehen derselben nicht immer wieder aufzuheben und entgegengesetzte hervorzurufen. Damit stimmen auch die von *Hankel* und *Liphart* gemachten Beobachtungen überein, dass ein schwacher Strom stets eine Polarität der Nadel erzeugt, die der Richtung der entstehenden Ströme entspricht. Um diese wieder aufzuheben, müsste der vergehende Strom eine viel stärkere Wirkung haben. Eine sehr starke Entladung hat aber diese Wirkung, und dann richtet sich die Polarität nach dem vergehenden Strom, dessen Anfang die frühere Polarität gleichsam vernichtet und dessen Ende die neue Polarität erzeugt. Jede Entladung ist ferner nach pag. 545 eine Folge mehrerer partieller Entladungen der Flasche, die immer schwächer werden und um so öfter sich wiederholen, je stärker die urspüngliche Ladung war. Daher kann auch eine starke Entladung die Polarität des entstehenden Stromes blos aufheben, und eine nachfolgende schwächere sie wieder herstellen.

§. 522.

Sturgeon fand die Wirkungen des elektrischen Stromes auf die Erregung des Magnetismus im weichen Eisen sehr gross im Verhältniss zu ihrer Wirkung auf gehärteten Stahl. Um sie beobachten zu können, lässt man einen cylindrischen Stab von weichem Eisen und von sehr gleichförmigem Gefüge in Hufeisenform schmieden und an den Enden möglichst eben feilen. Dieses Eisen umwindet man, wie in Fig. 651, mit einem Kupferdrahte, der mit Seide oder Baumwolle übersponnen ist, immer nach derselben Richtung, setzt darauf die Drahtenden *b* und *c*, in Verbindung mit den Polen einer einfachen Kette, so wird das Hufeisen schnell ein sehr kräftiger Magnet. Der Nordpol liegt da, wo der Nordpol des Schraubendrahtes hinfällt, und die Polarität kann schnell durch Aenderung des Stromes umgekehrt werden. Der Anker *a* ist oben convex und

Fig. 651.



berührt die Enden des Hufeisens mit möglichster Genauigkeit. Dadurch und durch die Anwendung schwerer Eisenmassen und starker Ströme hat man *Elektromagnete* von mehreren 1000 Pfund Tragkraft hervorgebracht. Nach Unterbrechung des Stromes verliert das Eisen seinen Magnetismus wieder, wenn der Anker weggenommen ist. Lässt man ihn aber damit in Berührung, so dauert die Magnetisirung fort. Ein Elektromagnet behält auf diese Art ohngefähr die Hälfte der Tragkraft, die er während des Stromes hatte; aber auch diese vergeht, wenn der Anker abgerissen wird.

Zwischen dem Elektromagnet und dem gewöhnlichen Magnet fand *G. Magnus* hinsichtlich ihrer Tragkraft einen wesentlichen Unterschied. Während z. B. ein elektromagnetisches Hufeisen in geschlossenem Zustande eine Tragkraft von 140 Pfund hatte, trug ein einzelner Pol desselben nur ein bis zwei Pfunde; dagegen trägt jeder Pol eines Stahlmagnets mehr als zwei Pfunde, wenn er mittelst des Ankers nur 10 Pfund zu tragen vermag. Die bedeutenden Gewichte, welche Elektromagnete zu tragen vermögen, sind daher auf Rechnung der gegenseitigen Einwirkung des Magnetismus der beiden Pole mittelst des Ankers zu setzen. Auch ein gerader Eisenstab erhält als Elektromagnet nur eine geringe Tragkraft. Verbindet man aber die freundschaftlichen Pole zweier solcher Elektromagnete durch ein flaches Stück Eisen, so wird ihre Tragkraft sehr erhöht, weil sie sich gegenseitig verstärken, und der galvanische Strom auch eine stärkere magnetische Kraft hervorbringt, wenn die Eisenmassen grösser sind, auf die er wirkt.

§. 523.

Ueber den Zusammenhang zwischen der Stärke des Elektromagnetismus und den ihn erregenden Strömen haben *Jacobi* und *Lenz* die ersten Untersuchungen mittelst der elektromagnetischen Wage angestellt; *Joule*, *J. Müller*, *Dub*, *W. Weber*, *Thomson*, *Wiedemann* und Andere haben sie fortgesetzt. Man ist dadurch zu folgenden Gesetzen gelangt, deren vollkommenes Verständniss jedoch nöthig macht, den Begriff von magnetischer Kraft festzustellen. *Jacobi* versteht darunter die Kraft, mit welcher der Elektromagnet bei der Unterbrechung des Stromes, also beim Aufhören des Magnetismus, in einer Drahtspirale, die um den weichen Eisenkern gewunden ist, einen Strom inducirt. — *J. Müller* versteht darunter die ablenkende Wirkung eines geraden Elektromagnets auf die Nadel einer Boussole, wenn dieser senkrecht zu ihrer Mitte in einiger Entfernung aufgestellt ist, also dasselbe, was in §. 403 unter „Magnetkraft“ verstanden wurde. *Dub* hat besonders die Anziehungskraft und Tragkraft der geraden Elektromagnete untersucht, welche desshalb von der magnetischen Kraft wohl zu unterscheiden ist, weil dabei die Vertheilung des Magnetismus in dem Anker die magnetische Kraft bedeutend erhöht.

Nimmt man das Wort „Elektromagnetische Kraft oder magnetisches Moment“ in den zwei ersten Bedeutungen, also wie *Jacobi*, *Lenz* und *Müller*, so ist 1) Die Stärke des im weichen Eisen durch galvanische Ströme hervorgerufenen Magnetismus diesen Strömen proportional. Dieses Gesetz gilt jedoch nur für schwächere magnetisirende Kräfte und also nur bis zu einer gewissen Gränze, denn sonst müsste im dünnsten Eisen-

draht der stärkste Magnetismus hervorgerufen werden können. *Joule* und *J. Müller* haben auch durch Versuche nachgewiesen, dass die magnetische Kraft eines Eisenstabs nur bis zu einem gewissen Maximum gesteigert werden kann. 2) Wenn der Leitungswiderstand, der nach §. 442 in dickern Drähten geringer ist, gehörig berücksichtigt wird, so geben dicke und dünne Drähte bei gleicher Stärke des Stromes und gleicher Zahl der Windungen, gleichstarke magnetische Kräfte. Zu einem dicken Drahte kann man also eine schwächere *Volta*'sche Kette nehmen, und mit jeder Kette einen starken Elektromagnet verfertigen, wenn nur der Draht sehr dick und die Zahl der Windungen sehr gross ist. In den meisten Fällen wird aber eine starke Kette und weniger Draht wohlfeiler sein, als eine schwache Kette und viel Draht. 3) Die Weite der Windungen ist bei gleichen Strömen für die Magnetisirung von keinem Einfluss, wenn das Eisen aus den Windungen hervorragt. 4) Die Gesammtwirkung mehrerer, einen Eisenkern umgebenden einzelnen Windungen ist gleich der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen. 5) Das Maximum des Magnetismus wird erhalten, wenn der gesammte Widerstand des die Spirale bildenden Leitungsdrahtes gleich ist dem gesammten Widerstand der Kette. Diess geht schon aus dem vorigen Gesetz und aus §. 443 theoretisch hervor, wie unten bewiesen werden wird. 6) Bei Stäben von gleicher Länge und bei gleichen Strömen ist der erzeugte Magnetismus nach *Lenz* dem Durchmesser proportional.

Bemerkenswerth ist in Bezug auf das erste Gesetz, dass wenn ein Stab zum erstenmal magnetisirt oder nach dem Entmagnetisiren wieder magnetisirt wird, sein magnetisches Moment im Anfang schneller wächst als die Stromstärke. Die Gesetze, welche sich auf die Gestalt der Eisenstäbe beziehen, sind nur empirische, und nur das eine von *Thomson* steht auch theoretisch fest, dass Stäbe von ähnlicher Form und verschiedener Grösse, die auf ähnliche Weise mit Draht umwickelt sind, von gleichen Strömen umflossen, eine gleiche magnetische Kraft auf ähnlich liegende Punkte ausserhalb ausüben, wenn die Länge der Drahtgewinde den Quadraten der Stabdimensionen proportional sind.

Für die Praxis sind die Gesetze für die Tragkraft und die Anziehungskraft von hufeisenförmigen Elektromagneten von Wichtigkeit. Unter ersterer versteht man das Gewicht, welches erfordert wird, um den Anker bei unmittelbarer Berührung des Elektromagnets abzureissen; unter letzterer das Gewicht, welches dazu erfordert wird, wenn zwischen den Anker und den Elektromagnet ein unmagnetischer ebener Körper von geringer Dicke gebracht ist. Die Anziehungskraft ist selbst bei sehr geringer Entfernung des Ankers nur ein kleiner Theil der Tragkraft und betrug z. B. nach *Dub* in einem Fall bei $^1/_{182}$ Zoll Abstand nur $^1/_3$ von der letztern. Auch nimmt die Anziehungskraft sehr schnell mit grösseren Entfernungen ab. Die wichtigsten empirischen Gesetze für einen geraden Eisenstab, die *Dub* gefunden hat, und wodurch zum Theil die von *J. Müller*, *Jacobi* und *Lenz* gemachten Beobachtungen bestätigt wurden, sind folgende: 1) Die Anziehung und Tragkraft sowohl der Stab- als Hufeisenmagnete verhält sich wie das Quadrat der Stromstärke, multiplicirt mit dem Quadrat der Windungszahl, so lange sich die erregte Magnetkraft noch nicht dem Maximum nähert. 2) Bei

massiven Eisencylindern von gleicher Länge, bei gleichstarken Strömen und gleicher Windungszahl verhalten sich die elektromagnetischen Kräfte wie die Wurzeln der Durchmesser dieser Cylinder, und 3) die Anziehung und Tragkräfte bei gleicher magnetischer Kraft, wie die Durchmesser der Stab- und Hufeisenelektromagnete. 4) Nimmt die Anziehung beider Elektromagnete bei gleicher magnetischer Kraft zu, je näher die Spiralwindungen den Polen sind. Doch tritt in diesem Fall viel früher Sättigung ein, als wenn die Wirkungen über den ganzen Kern verbreitet sind. 5) Hat die Entfernung der Schenkel keinen Einfluss, wenn alle andern Umstände dieselben sind, und 6) hat die Länge der Schenkel eines Hufeisens keinen Einfluss auf die Anziehung und Tragkraft, wenn die Windungen der Spirale auf die ganze Länge desselben vertheilt sind. 7) Wenn gerade Stäbe von gleichem Durchmesser in der Mitte durchschnitten werden und nur die eine Hälfte mit Windungen bedeckt ist, so ist bei gleicher Stromstärke die Anziehungs- und Tragkraft der Stablänge proportional. 8) Wird aber der Stab an einer andern Stelle durchschnitten und das kürzere Stück zum Anker, so wächst die Anziehung mit der Länge des Ankers. 9) Die Tragkraft nimmt mit Verkleinerung der Berührungsfläche bis zu einem gewissen Grade zu.

Drahtbündel von Eisen verlieren ihren Elektromagnetismus viel schneller als massive Stäbe, daher ist nach §. 512 das langsame Aufhören den peripherischen Strömen zuzuschreiben. Die Magnetisirung durch den Strom erfolgt von aussen nach innen, und braucht daher Zeit, bis sie ihr Maximum erreicht. Durch Anhalten eines gewöhnlichen Magnets kann man die elektromagnetische Kraft des ungleichnamigen Pols verstärken und beim Aufhören des Stromes, durch den gleichnamigen Pol, das magnetische Residuum vermindern.

Bei den hufeisenförmigen Elektromagneten ist der Einfluss der vertheilenden Kraft auf den Magnetismus des Ankers noch grösser als bei geraden Stäben. Dieser Einfluss aber ist noch nicht genau bekannt, wegen der grossen Mannigfaltigkeit in der Form und der Unvollkommenheit in der Berührung des Ankers mit der Oberfläche des Elektromagnets.

Bei Verfertigung eines Elektromagnets kommt es auf die Batterie und die Menge des Kupferdrahtes an, die man zu verwenden hat. Ist die Batterie gegeben, so erhält man nach §. 442 verschiedene Stromstärken, je nachdem der Widerstand des schliessenden Kupferdrahtes gross oder klein ist. So lange der Elektromagnetismus M in gleichem Verhältniss mit dem Strom S und der Anzahl der Windungen N wächst, muss M ein Maximum werden, wenn $S \, . \, N$ ein Maximum wird. Dieses ist nach *Dub* auch der Fall für die Anziehung und die Tragkraft des Elektromagnets. Dieses Maximum ergibt sich aber aus Folgendem: Der Widerstand der Batterie sei $= W$ oder so gross, als der Widerstand eines Kupferdrahtes, welcher ein □Millimeter Querschnitt und WMeter Länge hat, und es seien PKilogramm Kupfer zu verwenden. Ferner sei zu einer Windung die Länge aMeter nöthig und man mache xWindungen, so beträgt die ganze Länge dieser Windungen axMeter. Wiegt nun ein Kupferdraht von 1 Meter Länge und 1 □Millim. Querschnitt pKilogr.; so wiegt ein Draht von der Länge axMeter und q□Millim. Querschnitt $axpq$Kilogr. Dieses Gewicht sei dem zu verwendenden P gleich, so ist $axpq = P$, folglich der Querschnitt $q = \frac{P}{axp}$. Der Widerstand von axMeter und 1 □ Millimeter Querschnitt ist ax, und der Widerstand von ax und dem Querschnitt q ist also $\frac{ax}{q}$, oder wenn man für q den obigen Werth einführt, so ist der Widerstand der ganzen Drahtspirale $= \frac{a^2 x^2 p}{P}$. Die Stromstärke S ist also $=$

$\frac{E}{W+\frac{a^2x^2p}{P}}$. Da aber die Zahl der Windungen $= x$ ist, so ist die magnetische Kraft $x \,.\, S$ oder

$$M = \frac{xE}{W+\frac{a^2x^2p}{P}}.$$

Dieser Ausdruck kann auch vorgestellt werden durch

$$M = \frac{E}{\frac{W}{x} + \frac{a^2p}{P} \,.\, x}.$$

Der Nenner $\frac{W}{x} + \frac{a^2p}{P} \,.\, x$ wird daher aus denselben Ursachen, wie S. 575, ein Minimum, wenn $\frac{W}{x} = \frac{a^2p}{P} \,.\, x$ ist; oder wenn $W = \frac{a^2px^2}{P}$, also der Widerstand in der Kette gleich dem Widerstand in der Spirale ist. Daraus folgt das oben sub 5 angeführte Gesetz, dass man das Maximum der elektromagnetischen Kraft erhält, wenn man den gegebenen Draht so dick macht, dass der Widerstand in der Kette gleich ist dem Widerstand in der Spirale. Muss man, wie es bei Telegraphen der Fall ist, auch einen Widerstand der Leitung bis zu dem Elektromagneten in Betracht ziehen, so macht man den Widerstand in der Spirale gleich dem in der Leitung + dem der Kette.

Ein Elektromagnet, den ich aus einer beschädigten Locomotiv-Achse zur Hufeisenform biegen liess, und mit 500 Meter Kupferdraht von 0,45 Centim. Durchmesser umwickelte, trägt an *einem* Pol bei Anwendung einer Kette von 20 *Grove*schen Elementen mehr als 500 Pfund, und wird also einen Anker mit mehr als 100 Centner Kraft festhalten. Der Kupferdraht ist in sechs Lagen darauf gewickelt, deren jede 70 Windungen hat. Die Drahtstücke können durch Klemmschrauben so verbunden werden, dass der Strom die ganze Länge des Drahts ununterbrochen durchläuft, oder auch so, dass der Strom nur einen halb so grossen Weg zu machen hat, indem er sich in zwei gleichlaufende Drahtwindungen theilt, und also gleichsam einen Draht von doppeltem Querschnitt durchläuft. Ist der Widerstand in einem Element der Kette gleich dem von 10 Meter obigen Drahtes, so ist für den ersten Fall $S = \frac{20E}{200+500}$ und für den zweiten $S = \frac{20E}{200+\frac{500}{4}}$, also im ersten Fall, wo die Zahl der Windungen doppelt so gross ist, die magnetische Kraft

$$M = \frac{40\,E}{700} \text{ und im zweiten } M_{,} = \frac{20\,E}{325}.$$

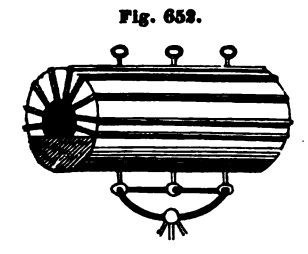
Hier ist $M_{,}$ grösser als M. Nimmt man statt 20 Elementen zu der Batterie 30 Elemente, so ist im ersten Fall $S = \frac{30E}{300+500}$ und im zweiten $S = \frac{30E}{300+\frac{500}{4}}$, also die magnetische Kraft im ersten Fall $M = \frac{60E}{800}$, im zweiten $M' = \frac{30E}{425}$. Bei 30 Elementen ist also dann M' kleiner als M. Dieses Beispiel zeigt, dass man bei einer Batterie durch einen längern Draht zuweilen weniger erreichen kann, als durch einen dicken von gleichem Gewicht; aber auch umgekehrt, dass es besser sein kann, einen längern Draht statt des kürzern zu nehmen.

Legt man auf die obern flachen Enden des obigen Elektromagnets zwei starke Halbanker von weichem Eisen, die in einem Zoll Entfernung von einander gehalten werden, so kann man die ausserordentlich starke magnetische Wirkung in diesem Zwischenraum durch verschiedene Versuche zeigen. Eine eiserne Kugel z. B., die man ohngefähr in dieser Richtung wirft, verfehlt nie ihr Ziel. Ein schwerer Schlüssel wird aus mehreren Fussen Entfernung angezogen, und wenn er durch eine am Boden befestigte Schnur zurückgehalten wird, so schwebt er horizontal neben den Ankern in der Luft. Bestreut man einen darüber gestellten Tisch mit Eisenfeile, Nägeln u. dgl., so wird in dem Augenblick, in welchem der Strom der Kette

durch den Draht geleitet wird, alles Eisen über den Polen gleichsam zusammengefegt und bildet eine starre Masse in der Richtung der beiden Pole. Lange Nägel bilden eine von Stacheln starrende Oberfläche. Viele Körper, die sonst unmagnetisch scheinen, zeigen sich hier magnetisch, andere werden abgestossen und sind also diamagnetisch, wovon später die Rede sein wird.

Joule hat einen Elektromagnet von grosser Tragkraft angegeben, der in Figur 652 abgebildet ist. Ein Eisencylinder von 8 Zoll Länge ist einen Zoll weit durchbohrt und der Länge nach so weit abgeschnitten, dass die innern Ränder noch $^1/_8$ Zoll weit von einander abstehen. Die entstandene Fläche ist sorgfältig geebnet und daran ein weiches Stück Eisen von gleicher Länge gepasst und mit dem Ganzen abgedreht. Der Cylinder ist von vier umsponnenen Kupferdrähten von $^1/_{11}$ Zoll Durchmesser und 23 Fuss Länge umwunden, und hat bei Anwendung einer mässigen Kette eine Tragkraft von 2000 Pfund. Die Anziehung in die Ferne ist jedoch hiebei sehr gering. Man kann einen dem *Joule*'schen Magnet ähnlichen und hinsichtlich seiner Tragkraft viel wirksameren Elektromagnet erhalten, wenn man in eine ebene, zolldicke Platte von weichem Eisen, rechtwinklicht sich durchkreuzende Furchen hobeln lässt und an den Durchkreuzungsstellen Löcher senkrecht zur Platte bohrt. Durch diese Löcher und in die Furchen schlingt man einen umsponnenen Leitungsdraht zweckmässig in verschiedenen Windungen und leitet nun den Strom einer Kette hindurch. Eine andere darauf gelegte Eisenplatte haftet daran so fest, als wäre das Ganze gleichsam nur eine Masse.

Fig. 652.



Rudford's Elektromagnet ist eine runde Scheibe von Eisen, um deren Rand der Leitungsdraht gewunden ist. Eine andere gleichgrosse Scheibe dient als Anker.

Um den Elektromagnet zur Magnetisirung von Magnetnadeln mit Erfolg anzuwenden, muss man, nach *Dove,* unter beide Pole desselben zwei Stücke Eisen legen und darauf die zu magnetisirende Nadel. Man streicht alsdann wie beim Doppelstrich, und entfernt die Nadel, indem man vorher die beiden Eisenstücke von ihr nach aussen fortschiebt, während die Kette geschlossen bleibt. Diese Methode ist von allen bekannten Magnetisirungsmethoden die beste.

Auch zur Magnetisirung von Stahlstäben, so wie von Hufeisenmagneten, kann man starke Elektromagnete statt der im §. 521 angegebenen Methode von *Elias* anwenden. Man bringt ihre beiden Enden mit den Magnetpolen des hufeisenförmigen Elektromagnets, oder wenn sie nicht denselben Abstand haben, mit weichen Eisenstücken, die man daran legt, in Berührung', und schiebt sie erst ab, wenn die Kette wieder geöffnet ist.

Nach *Wertheim* wird ein Eisenstab, der sich in einer elektromagnetischen Drahtspirale befindet, durch nachherige Torsion befähigt, eine viel grössere Menge Magnetismus zu erlangen und festzuhalten, als er annehmen würde, wenn sein mechanisches Gleichgewicht nicht gestört wäre. Eine Torsion nach der möglichst starken Magnetisirung erregt dagegen in einem darum gewundenen zweiten Draht einen Strom, der dem frühern magnetisirenden Strom entgegengesetzt ist, und die Detorsion erzeugt einen, diesem letztern gleichgerichteten Strom. Die Torsion für sich allein magnetisirt kein weiches Eisen. Die Biegung ändert die magnetische Kraft an Magneten und Elektromagneten in ähnlicher Weise wie die Torsion.

Wiedemann hat eine bis in die Einzelnheiten gehende Analogie zwischen den Erscheinungen des Magnetismus und denen der Torsion nachgewiesen; es scheinen darum bei der Magnetisirung ähnliche mechanische Vorgänge statt zu haben, wie bei der Torsion z. B.: Erschütterungen während der Windung eines Drahtes vermehren die Torsion, wie sie den Magnetismus vermehren, während der Einwirkung des Stromes. Die permanente Torsion der Eisendrähte nimmt durch ihre Magnetisirung ab, wie auch der permanente Magnetismus der Stahlstäbe durch ihre Torsion, und ein gewundener Draht verliert durch Erwärmen einen Theil seiner Torsion, wie ein Magnet von seiner Kraft.

Dadurch schon wird die im pag. 666 erwähnte Vermuthung höchst wahrscheinlich, dass die Magnetisirung durch Aenderung in der Lage der einzelnen Molekule des magnetischen Körpers bedingt ist. Einen noch höhern Grad von Wahrscheinlich-

Fig. 653.



Fig. 654.



keit erlangt aber diese Annahme durch einen d
neuern Versuche von *Wiedemann*, wornach e
Magnet sich tordirt, wenn durch ihn in der Ric
tung seiner Achse ein Strom geleitet wird. Ist d
Südpol des Magnets wie in Fig. 653 oben und ge
der Strom von oben nach unten, so findet die To
sion wie in Fig. 654 statt. Denn in dem Magn
Fig. 653, haben nach dieser Annahme die Moleku
sn eine solche Lage, dass ihre Südpole mehr na
oben als nach unten gerichtet sind. Der von oben na
unten gehende Strom sucht sie in der, durch Fig. 5
angedeuteten Richtung zu drehen und senkrecht zu
Strom zu stellen. Dabei wird *s* dem *n*, des nächst
Molekuls genähert, diese ziehen sich also noch stä
ker an, indem sie sich um ihre Schwerpunkte dı
hen. Indem alle Südpole sich rechts und alle Nor
pole links drehen, findet eine Torsion nach rechts statt und bei umgekehrter Stroı
richtung nach links.

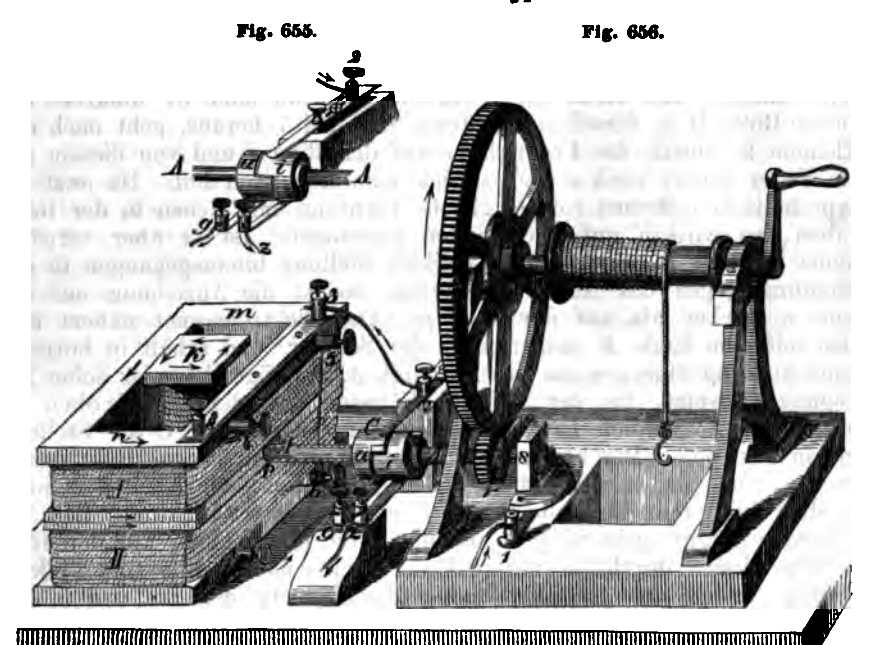
§. 524.

Die grosse Anziehungskraft der Elektromagnete hat Anlass geg
ben zu Versuchen, um dieselben zum Betrieb von Maschinen zu b
nutzen. Ausser *Jacobi* und mehreren Andern hat sich auch *Wheatsto*
damit beschäftigt, und verschiedene sinnreiche Constructionen angegebe
Wegen des Verbrauchs an Zink und Schwefelsäure ist aber die Anwe
dung der elektromagnetischen Maschinen zu kostbar.

Einen zweckmässigen Apparat, um die mechanische Wirkung d
Elektromagnetismus und zugleich mehrere andere Erscheinungen zu ze
gen, hat *Stöhrer* construirt. Er ist in Fig. 655 und 656 mit einig
Abänderungen abgebildet. *AA* ist eine eiserne Achse, welche sich bei
Fig. 656, um eine Stahlspitze bei *p* in einem Messinglager drehen läss
Senkrecht zu dieser Achse ist auf ihr linkes Ende ein cylindrisch
Eisenstab befestigt, an dessen beiden Enden starke viereckige Stücl
von Eisen wie *K* angeschmiedet sind. Die Achse *AA* ist von diese
Stab *K* an bis zu dem Commutator *C* von einem kupfernen Cylind
umschlossen, der von dem Eisen durch einen Holzring isolirt ist. U
den Stab *K* ist übersponnener Kupferdraht gewunden, dessen ein
Ende an die innere eiserne Achse *AA* und dessen anderes Ende an de
sie umschliessenden und von ihr isolirten kupfernen Cylinder befesti
ist. Der Zweck dieser Vorrichtung ist der, dass ein elektrischer Stroı
welcher durch die Klemmschraube 1 nach der Stahlspitze *S* in die eiserı
Achse geleitet wird, von ihr auf den Draht übergehen kann, welcher u
den Stab *K* gewunden ist, und erst nachdem er den Draht durchlauf
hat, auf den Kupfercylinder und von da auf den leitenden Theil *a* d
Commutators kommt. Dadurch wird *K* ein Elektromagnet, dessen Po
sich nicht verändern, so lange der Strom bei 1 eintritt und von d
Metallfläche *a* abgeleitet wird. Angenommen, der Draht sei so um de
Stab gewunden, dass *K* ein Nordpol wird, wie die Pfeile darauf ang
ben, so ist das entgegengesetzte Ende ein Südpol.

Der Elektromagnet *K* ist eingeschlossen von zwei Drahtrollen
und II, welche auf Holzrahmen gewunden sind. Die Klemmschraub
3, 5, 6, 8, 4, 7 dienen dazu, um die Verbindungen der Drahtend
herzustellen. Ausserdem ist 3 durch einen Metallstreifen mit 8 uı

Fig. 655. Fig. 656.



ebenso 5 mit 4 verbunden. Der Draht der Drahtrolle I beginnt bei 3, ist in der Richtung der auf den Rand gezeichneten Pfeile um die Holzrahme herumgewunden, und endigt bei 4. Der Draht von II beginnt bei der Klemmschraube 6, ist in gleicher Richtung um die untere Holzrahme gewickelt und endigt bei 7.

Der *Commutator C* besteht aus einem Holzcylinder, auf welchem zwei Messingringe stecken von der Form *a* und *i*. Die eine Seite dieser Ringe ist in Fig. 655, die andere in Fig. 656 besonders abgebildet. Beide Ringe sind durch einen Zwischenraum von einander getrennt. *a* ist mit dem kupfernen Ueberzug der Achse *A* leitend verbunden. *i* ist vollkommen isolirt. Die mit der Achse parallele Trennung *ai* ist oben oder hat während einer Umdrehung ihre höchste Höhe, wenn *K* oben ist oder der Elektromagnet senkrecht zu den Windungen der Inductionsrollen steht. Die Ränder von *ai* sind mit Platinblech gefüttert, damit sie nicht verbrennen. Die Ringe *a* und *i* des Commutators werden oben von einer messingenen Feder 2 und unten von zwei solchen Federn berührt. Die Art, wie diese befestigt sind, und wie sie stärker oder schwächer an den Commutator angedrückt werden können, ist an der obern Feder in Fig. 655 ersichtlich. Diese Federn stehen mit den Klemmschrauben 2, 9 und *z* in Verbindung. Die Klemme 2 ist mit 3, und die Klemme 9 mit 7 durch einen Draht verbunden. Der Draht von *z* führt zum negativen oder Zinkpol der Kette. Sämmtliche Federn sind auf Holzklötzchen befestigt und also isolirt.

In dieser Stellung, Fig. 656, geht also der elektrische Strom von 1 durch die eiserne Achse um den Eisenstab *K* herum, erzeugt bei *K* einen Nordpol, geht auf die kupferne Umhüllung von A, und von da

nach a, durch die obere Feder nach 2, durch den Draht nach 3, umkreist in der Richtung der Pfeile die obere Drahtrolle, geht nach 4; von 4 nach 5 und durch einen Verbindungsdraht nach 6, umkreist die untere Rolle II in derselben Richtung, tritt bei 7 heraus, geht nach der Klemme 9; durch die Feder links auf den Ring i und von diesem auf die Feder rechts nach s und zurück zum negativen Pol. Da jetzt die hypothetischen Ströme von K gleiche Richtung mit denen in der Rolle haben, so wird K auf allen Seiten angezogen. Ist es aber vermöge seiner Stellung etwas über die vertikale Stellung hinausgegangen in der Richtung gegen das Auge des Lesers, so ist die Anziehung auf der Seite n stärker als auf der Seite m. Der Elektromagnet nähert sich also mit dem Ende K immer mehr der Seite n, und erhält in horizontaler Stellung eine gewisse Geschwindigkeit, vermöge deren er seine Bewegung fortsetzt, bis der Nordpol K unten und der Südpol oben ist. In diesem Augenblick hat aber auch der Commutator C die Stellung wie in Fig. 655. Der Strom geht also von der kupfernen Hülle des A nach a, und von da zur untern Feder links, durch die Klemme 9 nach 7; durchläuft nun die Rolle II und I in umgekehrter Richtung; tritt bei 3 wieder heraus, geht nach 2 und durch die obere Feder auf den Ring i, von diesem durch die untere Feder rechts nach s und zum Zinkpol zurück. Indem also jetzt der Südpol des Magnets oben ist, und in den Rollen I und II der Strom die umgekehrte Richtung hat, wird die Drehung des Elektromagnets nach derselben Richtung fortgesetzt, bis der Nordpol wieder oben ist und die Stellung des Commutators wie in der Fig. 656 wiederkehrt; worauf die Ströme in den Rollen die ursprüngliche Richtung wieder annehmen u. s. w.

Um die Arbeit zu finden, welche der elektrische Strom in diesem Apparat zu verrichten vermag, ist auf die Achse AA der Trieb r befestigt, dessen Zähne in die eines grössern Rades greifen, um dessen Welle eine Schnur geschlungen ist, an die man ein Gewicht hängen kann. Ist der Elektromagnet in vollem Lauf, und hebt er auf diese Art in 10 Sekunden 20 Kil. 3 Meter hoch, so ist die in 1 Sekunde geleistete Arbeit = 6 Kil.-M.

Die von elektromagnetischen Maschinen geleistete Arbeit ist viel theurer als die von Dampfmaschinen. Es gibt nämlich die Verbrennung von 1 Kil. Steinkohlen 7000 Wärmeeinheiten, und durch die Oxydation von 1 Kil. Zink in der Batterie und den dadurch erhaltenen Strom werden nur 1240 Wärmeeinheiten erhalten; also gibt 1 Kil. Steinkohlen 5,6 mal so viel Wärme, und da Steinkohlen ohngefähr zehnmal so wohlfeil sind als Zink, so erhält man für denselben Aufwand 56 mal so viel Wärme, also auch nach §. 351, 56 mal so viel Arbeit. In den Dampfmaschinen wird aber nach §. 351, Anmerk., nur $\frac{1}{20}$ der Wärme zur Arbeit verwandt, sie leisten also immer noch 2,8 mal so viel als die elektromagnetischen Maschinen, wenn bei diesen der Aufwand für Säuren und Quecksilber gar nicht in Anschlag gebracht wird. Dagegen sind elektromagnetische Maschinen bei Arbeiten, die nur wenig aber stetige Kraft erfordern, wie bei Theilmaschinen, Webstühlen u. dergl. von Vortheil.

Page hat die Kraft, welche einen Eisendraht in die elektrische Spirale hineinzieht, zur Hervorbringung einer bewegenden Kraft benutzt. Sehr zweckmässig ist folgende Anwendung dieser Idee von *Fessel*. Zwei horizontal liegende, an einander stossende Spiralen leiten abwechselnd einen Strom. Wenn die Eisenstange im Innern durch die eine Spirale nach rechts gezogen worden ist, wird sie gleich darauf durch die andere Spirale nach links bewegt; ihre Polarität bleibt dabei stets dieselbe. Diese hin und her gehende Bewegung theilt sie durch eine daran befestigte

Messingstange einem Schwungrad mit. Schon bei zwei *Grove*'schen Elementen bewegt sich dieses mit grosser Geschwindigkeit.

§. 525.

Die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes wird bei der ausserordentlichen Geschwindigkeit desselben mit dem grössten Vortheil zur Telegraphie benutzt. Im einfachsten Fall sollen Mittheilungen zwischen zwei Orten *B* und *A* erfolgen, so ist dazu eine Leitung nöthig, welche den Strom einer Kette von *A* nach *B* und von *B* wieder nach *A* zurückführt. Es müssten darum zwischen beiden Orten zwei isolirte Metalldrähte ausgespannt werden. *Steinheil* hat aber gezeigt, dass man auch die Erde als Leiter benutzen, und folglich den zweiten Draht sparen kann, indem Kupferplatten an die Enden der Leitung gelöthet und in die feuchte Erde versenkt werden. Viele Physiker nehmen an, der von *A* durch den Draht nach *B* gekommene Strom gehe alsdann von *B* durch die Erde aus jeder Entfernung nach *A* zurück. Die neuere und einfachere Ansicht ist aber die, dass bei grossen Entfernungen gar kein Strom von *B* nach *A* zurückgehe, sondern dass die Erde als ein grosses Reservoir die in *A* abgeleitete z. B. negative Elektrizität der Batterie aufnehme. Die Elektrizität an dem positiven Pol erhält dadurch nach pag. 582 eine höhere Spannung und wird, wenn das andere Drahtende in *B* mit der Erde in Verbindung gesetzt wird, dort in diese abgeleitet, ohne wieder nach *A* zurückzukehren. Die Batterie kann auf demselben Weg, auf dem sie bei *A* negative Elektrizität der Erde zuführt, positive aus ihr aufnehmen und umgekehrt in *B*. Der Leitungsdraht wird entweder in der Luft auf Stangen von 12 bis 15 Fuss Höhe fortgeführt oder unter den Boden gelegt. Im ersten Fall ist er vollends durch Stücke von gebrannter Erde oder Glas, welche auf die Stangen befestigt sind, isolirt, im zweiten Fall ist er mit Gutta percha oder wegen der nachlassenden Isolationsfähigkeit von dieser mit Kautschuck überzogen. Bei geringen Entfernungen besteht die Leitung in einem einfachen Kupferdraht der 1 bis 2 Linien dick mit Kautschuck umpresst ist. Bei grössern besteht sie aus mehreren Drähten, die sich entweder berühren oder einzeln in Kautschuck eingeschlossen und wieder von einer isolirenden Schicht cylindrisch umgeben sind. Sie heissen alsdann Telegraphentaue oder Kabeln. In diesen sind die zwischen den Drähten entstehenden Räume mit getheerten Hanffäden ausgefüllt und oft noch mit getheertem Hanf bewickelt, ehe der Kautschuck darauf gepresst wird. Die äussere schützende und zugleich belastende Hülle bilden starke Eisendrähte, welche enge aneinander schliessend in steilen Schraubengängen um das Leitungstau laufen; bei dünnen Leitungen nimmt *Siemens* dazu Messingstreifen. Um den Draht im lezten Fall vor Beschädigung zu schützen, wird er oft noch in eiserne oder bleierne Röhren eingeschlossen. Auf die Leitungen über der Erde haben die Gewitter den nachtheiligen Einfluss, dass sie bei jedem Blitz Zeichen geben, indem derselbe einen Strom inducirt. Sonst sind sie von Tageszeit und Witterung völlig unabhängig. Den Einfluss der Gewitter hat *Steinheil* dadurch beseitigt, dass er einen beständigen Strom durch den Draht leitete und die Zeichen dadurch gab dass er diesen unterbrach; während sonst nur ein Strom durch die Leitung geht, wenn ein Zeichen gegeben

werden soll. Dieses Verfahren ist aber nicht wohl anwendbar. Die Leitungen unter der Erde sind dem Einfluss der Gewitter fast ganz entzogen; es ist aber noch nicht erwiessen, dass die bisher angewandten Isolirungen von langer Dauer sein werden.

Die Apparate, die man zum Telegraphiren anwendet, sind 1) Zeichentelegraphen, 2) Zeiger- oder Buchstaben-Telegraphen, und 3) Schreib- oder Druck-Telegraphen. Einen vollständigen Ueberblick der jetzigen telegraphischen Apparate zu geben, gestattet indessen der Raum dieses Buches nicht. Es wird darum von jeder Gattung nur das Wichtigste gesagt werden.

Für Zeiger-Telegraphen hat *Wheatstone* mit dem grössten Erfolg das *Oersted*'sche Gesetz (vergl. §. 437) oder die Ablenkung der Magnetnadel durch einen Multiplicator angewandt.

1) Bei seinen Telegraphen stehen die astatischen Nadeln vertikal vor einer Metallplatte, und drehen sich um eine horizontale Achse bald rechts, bald links, so wie man den Griff eines Commutators stellt, durch welchen der Strom bald in der einen, bald in der entgegengesetzten Richtung durch alle Stationen geleitet wird. Durch zwei Stifte, welche auf beiden Seiten der Nadel stehen, wird diese gehindert, grössere Ausschläge als von 25^0 zu machen. Die Combinationen dieser Ausschläge, wie links links, rechts rechts, links rechts, links links rechts u. s. w. dienen, um beim regelmässigen Dienst ganze Sätze, sonst aber, um einzelne Buchstaben zu bezeichnen.

2) Statt der astatischen Nadel kann man auch, wie *Highton*, das Elektrometer von *Cummings* (vide §. 515) anwenden. Die übrigen Zeichen-Telegraphen sind weder einfacher noch besser als dieser, und beruhen ebenfalls auf Ablenkungen nach rechts und links.

3) Durch den Elektromagnetismus ist der Leitungsdraht gleichsam eine Transmission bedeutender Kräfte, welche Bewegungen aller Art in der grössten Entfernung bewirken können. Daher gibt es auch eine grosse Anzahl mit verschiedenen Mechanismen versehener Telegraphen, welche hierauf beruhen. Hier können nur übersichtlich die Hauptarten derselben angeführt werden; a) Der Wecker oder Alarum, eine mechanische Vorrichtung, die längst durch die Weckuhren bekannt ist, und schon früher auf das Manchfaltigste ausgeführt wurde. Die Auslösung des Uhrwerks oder Gewichtes, durch welche der Wecker in Bewegung kommt, erfolgt durch einen Elektromagnet, welcher in dem Augenblick, in welchem ein Strom durch einen Draht geht, einen Anker von weichem Eisen anzieht, und dadurch die Auslösung bewerkstelligt. Dieser Apparat ist in vielen Fällen, besonders bei den vorhin beschriebenen Apparaten, nöthig, um die bei den Telegraphen aufgestellten Personen aufmerksam zu machen, dass die Mittheilung der Zeichen beginnt. b) Dem Buchstaben-Telegraphen von *Wheatstone*, der jetzt in vielen Abänderungen im Gebrauch ist, liegt gleichfalls die Anwendung des Elektromagnetismus zu Grunde. Dabei sind Buchstaben des Alphabets auf der Peripherie eines Zifferblatts angebracht und dadurch direkt ablesbar, dass ein Zeiger, durch wiederholte Herstellung und Unterbrechung des Stroms bis zu dem bestimmten Buchstaben fortgeführt wird, indem man die hin- und hergehende Bewegung des Ankers an einem Elektromagnet in eine kr[illegible] [illegible]ortwirkende verwandelt. Die Beschreibung eines vorzüg-

lichen Buchstaben-Telegraphen, bei welchem die Batterie allein alle Bewegung vollführt, folgt weiter unten. Bei andern wird die Bewegung des Zeigers durch ein Uhrwerk bewerkstelligt, welches, wie der Wecker, von Zeit zu Zeit wieder aufgezogen wird, und also ein wohlfeileres Kraftmagazin ist, als die Batterie. So oft ein Elektromagnet die Hemmung dieses Uhrwerks aufhebt, erfolgt durch dasselbe die Drehung des Zeigers um einen der darauf verzeichneten Buchstaben. Nach 24 oder mehr Herstellungen und Unterbrechungen des Stromes steht der Zeiger wieder oben. Diese Telegraphen waren in Deutschland ziemlich verbreitet. Weniger einfach, als die Zeichen-Telegraphen, ersparen sie bloss das Auswendiglernen der Zeichen. Ein Ueberspringen des Zeigers, um einen oder mehrere Buchstaben, macht zuweilen Wiederholung oder Zurückführung des Zeigers auf den ersten Buchstaben nöthig. Diess ist die Ursache, warum man in England die Zeichen-Telegraphen vorzieht. c) Der Druck- oder Schreib-Telegraph von *Morse* besteht aus einem Elektromagnet, welcher ein weiches Eisen, den Hammer, anzieht, wenn ein Strom durch seine Spirale geht, und denselben vermöge einer Feder wieder loslässt, wenn der Strom unterbrochen wird. Mit dem Hammer steht ein Griffel in Verbindung, welcher, so lange als die Anziehung dauert, gegen einen Papierstreifen gepresst wird. Der Papierstreifen wird durch ein Uhrwerk gleichförmig fortbewegt. Dadurch entstehen auf ihm Punkte und Striche, je nach der Dauer der Anziehung, und es bedeutet also z. B. Punkt Punkt einen Buchstaben, Punkt Strich einen andern. Auf grosse Entfernungen mit wenig Zwischen-Stationen so wie zur Mittheilung von Staats- und Handelsnachrichten ist dieser Telegraph, zu welchem *Wheatstone* und *Steinheil* viel früher die Idee hatten, als *Morse*, der zweckmässigste. Desshalb folgt unten noch Mehreres darüber. Eine andere Methode der schriftlichen Mittheilung hat *Bains* erfundeu. Sie beruht auf der chemischen und magnetischen Wirkung des Stromes, und wird in der Anmerkung erklärt werden.

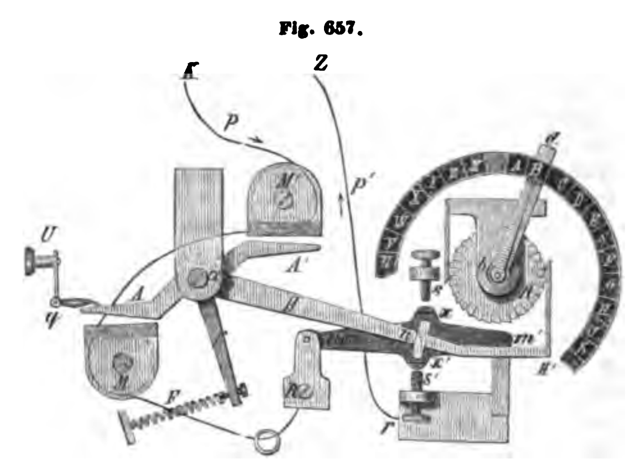
Die elektrischen Ströme, welche die oben beschriebenen Telegraphen in Bewegung setzen, werden entweder durch constante Ketten, wie sie in §. 439 beschrieben sind, oder durch die nachher zu beschreibende magnet-elektrische Maschine hervorgebracht.

Die Meinungsverschiedenheit wegen der Erdleitung beruht auf Folgendem: Wenn die versenkten Platten *A* und *B* sehr nahe bei einander sind, so geht wirklich unter obigen Voraussetzungen ein Strom von *B* nach *A*; denn wenn man zwischen *B* und *A* noch zwei Metallplatten *C* und *D* in die Erde senkt, und sie durch Drähte mit einem Galvanometer verbindet, so zeigt dieses einen gleichgerichteten Strom an, der jedoch immer schwächer wird je weiter *B* von *A* und die Verbindung *C*, *D* von beiden entfernt ist. Nach der Theorie und Erfahrung wird aber ein Strom um so besser geleitet, je grösser der Querschnitt der Leitung ist. Der Strom von *B* nach *A* kann sich aber um so weiter ausbreiten, je weiter beide von einander entfernt sind, und desshalb kann die Zunahme des Widerstandes bei grossen Entfernungen nicht sehr merklich sein, wie es die Erfahrung lehrt. Desshalb aber nimmt man dann auch zwischen *C* und *D* keinen Strom mehr wahr. Für die andere Erklärung, dass die Erde ein Reservoir sei, welches Elektrizität aufnehme und abgebe, sprechen die Einfachheit und folgende Thatsachen: Wird der negative Pol der Batterie in *A* mit der Erde leitend verbunden, so steigt die elektrische Spannung am positiven Pol und verbreitet sich über einen noch so langen isolirten Draht bis *B*. Setzt man das Drahtende in *B* mit der Erde in Verbindung, so nimmt diese das plus auf, es folgt neues plus nach und es findet ein Strom in dem Drahte statt. Dasselbe ist der Fall, wenn man den negativen Pol einer Batterie mit dem einen Beleg eines sehr grossen Condensators, wie der beim Ruhmkorff'schen

Inductions-Apparat ist, in Verbindung setzt, und den negativen mit dem andern Beleg; denn der Condensator ist dann in wenigen Sekunden schwach geladen. Es ist also positive Elektrizität in das eine Reservoir, negative in das andere gegangen. Dasselbe würde der Fall sein, wenn die Erdkugel durch eine Glasplatte in zwei von einander isolirte Hälften getheilt wäre und die Station *A* der einen, *B* der andern zugehörte. Beide würden eben so gut mit einander telegraphiren können und doch kein Strom in der Erde von *B* nach *A* gehen. Diess wird endlich auch dadurch bestätigt, dass wenn man nur den einen Pol der Batterie mit dem einen Beleg des Condensators verbindet und den andern Beleg mit der Erde, dieser dennoch geladen wird.

Die Fig. 657 enthält das Wesentlichste zum Verständniss des *Zeiger-* oder *Buchstaben-Telegraphen* von *Siemens* und *Halske*, welche auf den meisten preussischen Telegraphenlinien eingeführt waren. Zwei Elektromagnete *MM'* sind auf einer horizontalen Platte senkrecht befestigt und unten durch einen eisernen Querstab verbunden. Sie sind oben mit eisernen Schuhen versehen, von deren oberer Seite der Anker *AA'* angezogen wird. Dieser dreht sich mit den auf derselben Achse *a* befestigten Hebeln *af* und *HH'* um *a*. Das Ende *H'* trägt einen Haken, der in die Zähne des stählernen Rädchens *R* eingreift und dasselbe um einen Zahn in der Richtung der Zeiger einer Uhr weiter dreht, wenn die Anker *AA'* durch die Feder *F* mittelst des Hebels *af* von dem Elektromagnet abgerissen werden, weil der elektrische Strom unterbrochen ist. Sobald der Strom die Eisenkerne *MM'* wieder umkreist, werden die Anker *AA'* angezogen, der Hebel *HH'* nähert sich dem Rädchen *R* und der Haken daran fasst den nächsten in der Figur darüber stehenden Zahn. So muss durch das abwechselnde Oeffnen und Schliessen der Kette das Rädchen *R* jedesmal um einen Zahn weiter gebracht werden. Ist nun auf der verlängerten Achse *b* desselben ein Zeiger *bB* befestigt, der sich in der Höhe des Kreises *U....K* dreht, so rückt dieser nach jedem Schliessen und Oeffnen der Kette um einen Buchstaben weiter. Damit sich das Rädchen *R* nicht rückwärts drehen kann, ist noch ein zweiter Sperrhaken links bei *s* angebracht. Durch eine eigenthümliche Vorrichtung, das *Schiffchen mm'*, wird das Oeffnen und Schliessen der Kette auf's Regelmässigste und Schnellste bewirkt. Es ist dieses ein kupferner leichter Hebel, der sich um *m* dreht und bei *m'* auf einer horizontalen Feder ruht. Damit er bei *m'* isolirt ist und sich wenig reibt, trägt er dort einen kleinen Achatstein. Bei *x* und *x'* hat dieses Schiffchen zwei hervorragende Ansätze. Senkrecht zur Fläche desselben steht auf jedem Ansatz ein aufwärts gerichtetes Kupferstück. An eines dieser Kupferstücke stösst das auf dem Hebel *HH'* horizontal, aber quer befestigte Metallstäbchen *n*, so oft der Hebel *HH'* nach der einen oder andern Richtung bewegt wird. Damit diese Bewegung nur innerhalb der nöthigen Gränzen erfolgt, halten die Schrauben *s* und *s'* die Kupferstückchen *x* und *x'* auf. Das schnelle Hin- und Hergehen des Ankers und damit die Bewegung des Zeigers wird nun auf folgende Art bewirkt. Angenommen, es gehe ein elektrischer Strom von dem positiven Pol *K* einer Kette durch einen Draht *p* um *M'* und *M* nach *R* und von da auf das Schiffchen, während *x'* mit *s'* in leitender Verbindung ist, so kann er durch die Schraube *s'* und den Draht *p'* nach dem negativen Pol *Z* zurückgehen. Die Eisenkerne *MM'* werden dann magnetisch und der Hebel *HH'* stösst mit dem Querstäbchen *n* an das hervorstehende Stück *x*, treibt dieses nach *s* und hebt da-

Fig. 657.



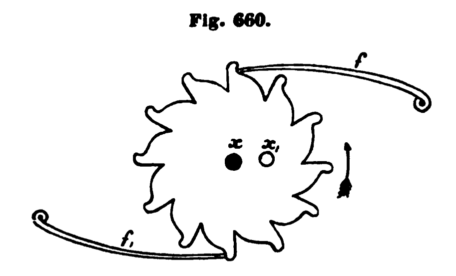
urch die Berührung zwischen x' und s' auf. Nun kann der Strom nicht mehr ach p' gelangen, weil s isolirt ist. Die Feder F führt also den Hebel HH' wieder urück und bringt dadurch x' wieder in Berührung mit s', worauf die Anker A und l' auf's Neue angezogen werden u. s. w. So lange also eine Kette in Verbindung nit K und Z ist, und der Zeiger nicht gehemmt wird, setzt er ununterbrochen einen Rundlauf fort. Die Buchstabenscheibe ist so eingerichtet, dass neben jedem Buchstaben auf der Scheibe $U \ldots K$ eine Taste liegt, die unten einen Stift hat, velcher beim Niederdrücken einen zweiten Zeiger d hemmt, der parallel mit dem beren ist, aber tiefer unten liegt. Die Schrauben s und s' sind so gestellt, dass n dem Moment dieser Hemmung weder x noch x' damit in Berührung kommen cann. Darum bleibt jetzt der Strom unterbrochen, und wenn der Leitungsdraht p' uch noch nach einem andern Telegraphen dieser Art führt, so steht desshalb auch lort der Zeiger still. Wird die Taste wieder losgelassen, so drückt eine Feder den Stift wieder in die Höhe, der Zeiger d kann wieder weiter gehen, der Hebel HH' st durch den Haken über H' nicht mehr gehemmt, x' kommt wieder mit s' in Berührung und der Rundlauf beginnt auf's Neue. Jede Unterbrechung des Stroms führt auf allen Stationen den Zeiger um *einen* Buchstaben weiter und desshalb müssen auch alle Telegraphen denselben Buchstaben auf der Scheibe angeben, wenn sie von Anfang auf dem zwischen Z und A befindlichen leeren Felde standen. Ist eine Unordnung entstanden, so werden alle Zeiger ohne Benutzung des Stroms und der Tasten dadurch auf das Feld zwischen Z und A zurückgeführt, dass man durch abwechselndes Drücken auf den Knopf U und den damit verbundenen Winkelhebel Uq den Anker hin- und herbewegt. Mit diesem Apparat steht noch ein Wecker (Alarum) in Verbindung, welcher hörbare Zeichen gibt, indem ein Hebel auf ähnliche Art wie HH' bei seinem Hin- und Hergehen auf eine Glocke schlägt. Dieses Läuten dient den andern Stationen als Zeichen, dass man mit ihnen korrespondiren wolle. Wie dieser Wecker wieder ausser Thätigkeit gesetzt wird und die Ketten der einzelnen Stationen mit den Apparaten in Verbindung treten, so wie die Angabe der übrigen Zeichen, welche auf dem Zifferblatt angebracht werden u. dgl. mehr, muss hier des Raumes wegen übergangen werden.

Einen sehr sinnreichen und sichern Mechanismus haben die in England sehr verbreiteten *Wheatstone*'schen neuesten Buchstaben- oder Privattelegraphen, wovon das Wesentliche in Folgendem besteht: N und S, Fig. 658, sind die Enden eines doppelten Elektromagnets. Auf der Achse c sind zwei starke constant-magnetische Nadeln befestigt, von denen man hier nur Nord- und Südpol, n und s sieht. Es wird bei dieser Voraussetzung n rechts und s links gedreht. Wird N aber durch Umkehrung des Stromes ein Süd- und S ein Nordpol, so geht n links und s rechts. In Fig. 659 sind die constanten Magnetnadeln ns', und sn, und die Achse cc, ihrer Länge nach abgebildet. Auf der Achse cc, steckt der Hebel pr fest. Nahe an dem untern Ende hat er ein kleines Loch, in welchem die Achse xx, des Buchstaben-Zeigers ruht und sich drehen lässt. Die Achse xx, ruht bei v in einem hohlen Lager mit einer runden Verdickung dieses Theils der Achse, so dass wenn das Ende x rechts und links schwingt, bei v kein Widerstand stattfindet. Auf dieser Achse ist das feine Rädchen mm festgesteckt. Dieses ist in Fig. 660 vergrössert abgebildet, nebst zwei Federchen f und f, die nach x hin drücken. Wird nun der Mittelpunkt x des Rädchens nach rechts bewegt, so kann der Zahn, der von f berührt ist, sich nicht bewegen, das Rädchen muss sich also unten um einen Zahn drehen, und wenn es 30 Zähne sind, so muss auch die Achse xx, sich um $\frac{1}{30}$ ihres Umfangs drehen,

Fig. 658.

Fig. 659.

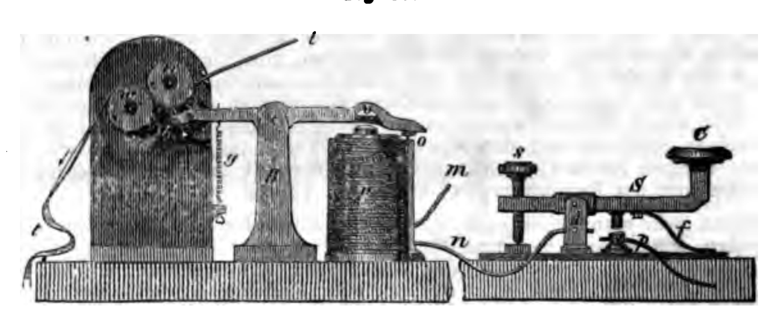
Fig. 660.



folglich auch der Zeiger *z z* in Fig. 659. Bewegt sich der Mittelpunkt *x* in Fig. 660 wieder links, so hemmt das Federchen *f*, und das Rädchen muss sich also nach obiger Richtung wieder um $\frac{1}{30}$ weiter drehen und so fort. So oft also der Elektromagnet *N S* die Pole wechselt, rückt der Zeiger *z z* um eines der 30 Zeichen, Buchstaben u. s. w. fort. Der Strom könnte von einer *Volta*'schen Kette entnommen und durch einen Commutator so oft umgekehrt werden, als nöthig ist, um ein bestimmtes Zeichen zu geben; *Wheatstone* wendet aber hiezu den magnetelektrischen Inductions-Apparat an, wo der Stromwechsel durch Drehung eines Ankers vor dem Magnet, wie später gezeigt werden wird, von selbst stattfindet und also gar keine *Volta*'sche Kette nöthig ist.

Zur Mittheilung wichtiger und längerer Nachrichten dient fast allgemein der *Morse*'sche Telegraph, Fig. 661. Er besteht aus einem Schlüssel *S* und dem

Fig. 661.



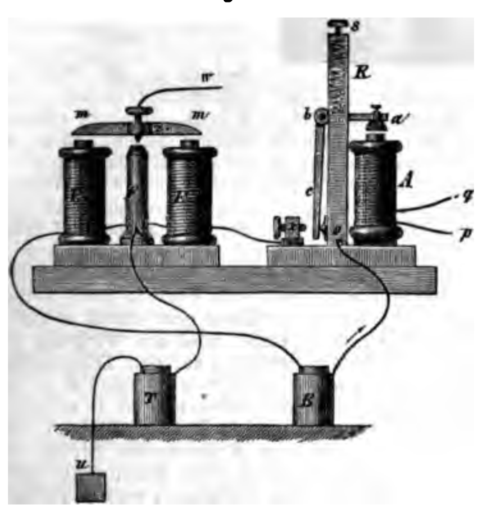
Schreibapparat B. Der Schlüssel dient zum abwechselnden Oeffnen und Schliessen einer Kette, welche den Elektromagnet *P* in Thätigkeit versetzt. Der Strom geht nämlich durch den Draht *p* in das durch ein Elfenbeinblättchen isolirte Messingsäulchen *x*, und wenn der Hebel *S* herabgedrückt wird, durch diesen nach dem Träger *A* und den Draht *n* zu dem entfernten Elektromagnet *P*. Dieser besteht aus zwei gleichen Eisenstäbchen, die unten durch ein Querstück von Eisen verbunden und mit übersponnenem Kupferdraht umwickelt sind. Das eine Ende dieses Drahtes ist mit *n*, das andere mit *m* verbunden. Der Draht *m* führt zu dem negativen Pol der Kette. Der zweite Magnet steht hinter *P* und ist nicht sichtbar. *bv* ist ein Hebel, dessen Stütze *B* auf der Mittellinie zwischen den beiden Magneten *P* steht. Senkrecht zu diesem Hebel ist der eiserne Anker oder Hammer *v*, der auf beiden Seiten bis über die eisernen Kerne der beiden Elektromagnete hervorragt, so dass er angezogen wird, sobald diese magnetisch sind. *w w* sind zwei metallene Walzen, welche in der Richtung der Pfeile durch ein Triebwerk mit mässiger, aber gleichförmiger Geschwindigkeit sich drehen, sobald dieses Triebwerk ausgelöst wird. Diese Walzen stehen einander so nahe, dass sie einen zollbreiten Papierstreifen *tt*, der um eine Rolle gewunden ist, mit sich in der Richtung des Pfeils fortziehen. *b* ist ein vollkommen harter Stahlstift, welcher durch den Elektromagnet *P* an den Papierstreifen angedrückt wird und dort einen Eindruck zurücklässt. Ist *P* nur einen Augenblick magnetisch, so ensteht auf dem Papier ein Punkt; dauert die Berührung länger, so gibt es einen Strich. So oft *P* unmagnetisch ist, zieht die Feder *g* den Stift wieder abwärts. Das Schräubchen bei *o* dient dazu, um zu verhindern, dass der Anker *v* den Eisenkern von *P* nicht berühren, aber ihm doch sehr nahe kommen kann. Ebenso hat die Feder *f* an dem Schlüssel den Zweck, die Berührung zwischen den Säulchen *x* und dem gegenüberstehenden Säulchen aufzuheben, sobald der Druck auf *C* nachlässt und die Schraube *s* verhindert, dass *S* durch die Feder *f* zu weit gehoben wird. Die Zeichen bestehen in Punkten, kurzen und langen

Strichen, welche der Stift b dem Papier eindrückt. So bedeutet z. B. . — den Buchstaben a; . . ist i; . . . ist s u. s. w. Will man telegraphiren, so klopft man mit dem Finger auf den Drücker C; dadurch wird der Strom bei x mehrmals hinter einander schnell geschlossen und wieder geöffnet. Der Anker v geht also mit dem Hebel bv schnell auf und ab und veranlasst durch das Aufschlagen bei o ein Rappeln, welches den Telegraphisten im Ort B in Kenntniss setzt, dass man ihm etwas melden will. Dieser löst nun das Triebwerk aus; dadurch kommen die Walzen ww, folglich auch der Papierstreifen tt in Bewegung, und der Telegraphist in A schreibt nun darauf, indem er mit dem Finger bald kürzere Zeit, bald länger auf C drückt. Die Rückleitung des Stroms von m kann durch die Erde gehen, wenn der negative Pol der Kette mit ihr verbunden ist. Gewöhnlich wird aber die Batterie der Station, von der aus man ein Zeichen geben will, nur benutzt, um auf der andern Station eine Hilfs- oder Local-Batterie abwechselnd zu öffnen und zu schliessen. Diese Local-Batterie setzt alsdann den Elektromagnet in Bewegung und steht mit der andern Station in keiner weitern Verbindung. Der Apparat, welcher das Oeffnen und Schliessen der *Local-Batterie* besorgt, und es möglich macht, auf die grössten Entfernungen zu telegraphiren, heisst das *Relais*. Die erste Idee zu diesem nützlichen Apparat hat ebenfalls *Wheatstone* gehabt.

Das Relais R, Fig. 662, besteht aus einem Elektromagnet A, mit feinem Draht umwickelt. An einem metallenen Winkelhebel abc, der sich um b dreht, ist der Anker a senkrecht befestigt. Im ruhenden Zustand wird der Anker a durch eine Feder, die durch den Schraubenkopf s beliebig gespannt werden kann, in die Höhe gezogen, wodurch das untere Ende des Winkelhebels bei o mit einem Glaskegel in Berührung kommt. Geht aber ein Strom von einer entfernten Station mittelst des Drahtes p um den Elektromagnet A, und von da durch q in die Erde, so wird der Anker a angezogen und das Ende c des Hebels abc gegen die Schraube x gedrückt. Der Strom der Localbatterie B geht alsdann in der Richtung des Pfeils in das metallene Gestell os, von da in den Hebelarm bc und von c nach x in den Draht, welcher den Elektromagnet EE des *Morse*'schen Telegraphen bildet. Von diesem gelangt er zu dem negativen Pol der Localbatterie B. So lange also der Elektromagnet A thätig ist, muss es auch der *Morse*'sche Telegraph sein.



Fig. 662.

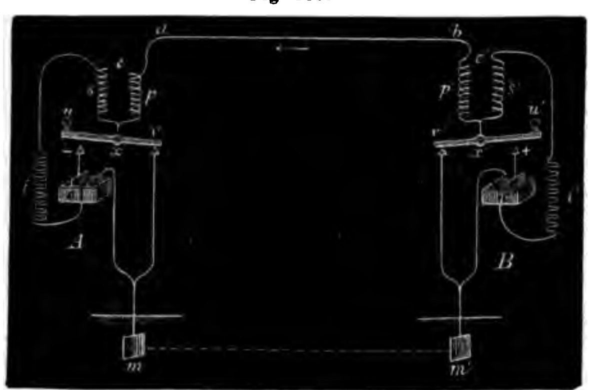


Um eine Nachricht, welche auf diese Art an einer Station angelangt ist, durch den Telegraphen selbst zugleich auf die nächste Station zu übertragen, wendet man den *Translator* von *Steinheil* an. Zwischen den Gewinden EE des *Morse*'schen Telegraphen, Fig. 662, steht eine metallene Säule F. Der Anker mm ist in der Mitte mit einer Metallspitze bei z versehen, welche mit F in Berührung kommt, wenn der Anker herabgeht. Der eine Pol der Translator-Batterie T ist mit F durch einen Draht verbunden, der andere Pol durch den Draht u mit der Erde. Von dem Hebel, an welchem der Anker leitend befestigt ist, geht ein Draht w nach dem Relais der nächsten Station. Sobald also mm herabgeht, geht der Strom von T nach F, von da nach z und durch w zu dem Relais der nächsten Station. Aus diesem gelangt er in die Erde und von da, wie man zu sagen pflegt, nach dem Draht u und zurück zum negativen Pol der Kette T. Das Relais der nächsten Station setzt die dortige Local-Batterie in Bewegung und damit den Telegraphen selbst. Gerade so kann dieser, wenn er mit einem Translator versehen ist, die Nachricht wieder weiter tragen. Sollen die Zwischenstationen keine Nachricht erhalten, so werden sie durch ein gegebenes Zeichen benachrichtigt und dann müssen sie ihr

Relais von der Drahtlinie so abschliessen, dass der Strom zwischen den correspondirenden Stationen ununterbrochen ist.

Die von *Gintl* und Andern vorgeschlagenen Methoden, einen Telegraphen-Draht zur gleichzeitigen Beförderung zweier Depeschen in entgegengesetzten Richtungen zu benutzen, sind bis jetzt noch von unsicherem Erfolg. Das einfachste und beste System scheint das von *Siemens* zu sein. Es seien *A* und *B*, Fig. 663, zwei Stationen, die durch den Draht *ab* verbunden sind. An beiden stelle *c, c'* die Batterien, *e, e'* die Elektromagnete der Telegraphen-Apparate, *m m'* die Erdleitung, *uv* und *u' v'* einen um seine Mitte *x, x'* drehbaren Hebel vor, der in der Ruhelage mit der Erdleitung verbunden ist und auf der Station *A* beim Herabdrücken des Knopfes *u* mit dem negativen Pol von c und beim Herabdrücken von *u'* in *B* aber mit dem positiven Pol der Batterie *c'* in leitende Verbindung kommt. Von den entgegengesetzten Polen der Kette *c* und *c'* geht eine Leitung durch *i, i'* nach dem Hebel *uv*, *u' v'* und nach der Erdleitung *m m'*. Die Leitung von c durch *i* nach *x* geht durch eine Spirale *s*, die um den Elektromagnete in entgegengesetzter Richtung gewunden ist, als eine zweite dazwischen gewundene Spirale *p*. Die Wirkung beider Spiralen *s* und *p* auf den Elektromagnet *e* muss vollkommen gleich, aber entgegengesetzter Art sein, wenn ein Strom von *A* nach *B* geht, desshalb müssen *s* und *p* gleichviele Windungen haben und gleichstarke Ströme leiten. Eben so muss in *B* die Wirkung der Spirale *s'* durch die von *p'* auf den Elektromagnet *e'* aufgehoben werden. Aus diesem Grund ist in die Leitung von *c* nach *s* ein Widerstand *i* eingeschaltet, der gerade so gross ist, als der des Leitungsdrahtes *ab* und die Summe der übrigen Widerstände, welche der Strom, der von *A* nach *B* geht, zu überwinden hat. Denselben Zweck hat der Widerstand *i'* für Ströme, die von *B* nach *A* gehen sollen. Will nun *B* dem *A* ein Zeichen geben, so drückt man den Knopf *u'* herab. Der Strom geht von *c'* nach *x'*, theilt sich dort in zwei Arme; der eine Theil geht durch *p'* und *b a* nach *A*, der andere Theil geht durch *s'* und *i'* zur Batterie *c'* zurück. Der Telegraph in *B* bleibt in Ruhe, weil die Wirkung der Spiralen *s'* und *p'* sich aufhebt; aber in *A* wirkt die Spirale *p* auf den Telegraphen und der von *B* kommende Strom geht durch sie nach *v* und von da nach *m* in die Erde. *A* erhält also Nachrichten von *B*, ohne dass der Telegraph in *B* selbst in Thätigkeit kommt. Sollte aber zu gleicher Zeit *A* auch nach *B* telegraphiren, und also den Hebel bei *u* herabdrücken, so würde der von *B* kommende Strom nur durch die Batterie *c* in die Erde nach *m* geleitet werden. Die Stromwirkungen, die nun von der Batterie *c* ausgehen, heben sich in den Spiralen *s* und *p* auf und stören also die Wirkung der Batterie von *B* nicht. Der Telegraph in *A* gibt bloss Zeichen von dem, was *B* mittheilt, und ebenso gibt der Telegraph in *B* bloss diejenigen Wirkungen an, die der von *A* kommende Strom hervorbringt. Die Hauptschwierigkeit bleibt aber immer die, zu bewirken, dass die Ströme in den Spiralen *s* und *p*, die von der Local-Batterie kommen, sich vollkommen aufheben.

Fig. 663.



Ein geübter Telegraphist kann mit *Morse's* Telegraph dreissig Buchstaben in einer Minute schreiben. Mit Hilfe einer Holzplatte, in welche kurze und lange Streifen von Messing (die Buchstaben vorstellend) eingelassen sind, und über die man mit einem leitenden Stift hinfährt, kann man auch ohne Uebung telegraphiren, aber nur langsam.

Der oben erwähnte Copir-Telegraph von *Bains* beruht auf Folgendem: Man denke sich, die obere Walze des *Morse*'schen Telegraphen auf der Station *A* sei mit Papier überzogen, welches z. B. mit Stärke und Jodkalium getränkt und durch

Befeuchtung leitend gemacht ist. Geht alsdann durch den Stift, der beständig durch eine Feder angedrückt wird und nicht beweglich ist, ein elektrischer Strom zu der Walze, so wird da, wo er das Papier berührt, das Jodkalium zersetzt. Das Jod verbindet sich mit der Stärke und färbt das Papier an der Berührungsstelle blau. Es entsteht also während einer Umdrehung der Walze ein dunkler Strich auf dem Papier. Findet aber während dieser Umdrehung eine Unterbrechung des Stromes statt, so entsteht in dieser Linie eine Lücke, die weiss bleibt. Wird nun die Walze über dem Stift durch ein Uhrwerk so gedreht, dass dieser auf ihr eine sehr dichte Schraubenlinie beschreiben muss, so kann auf obige Art das ganze Papier nach und nach blau gefärbt werden. Ist aber auf der Station B die zu ertheilende Nachricht mit einer *nichtleitenden* Dinte auf eine ähnliche Walze oder auf ein darum gewundenes Blatt geschrieben, und berührt ein Stift dieses Blatt, durch welches ein Strom der Kette gehen muss, so wird dieser Strom unterbrochen, so oft dieser Stift das beschriebene Blatt an einer nichtleitenden Stelle berührt. Dreht sich also diese Walze mit gleicher Geschwindigkeit und auf gleiche Art wie die erste, so werden, indem auch in A der Strom in demselben Augenblick wie in B unterbrochen wird, die Lücken oder weissen Stellen, die auf dem Jodkalium-Papier in A entstehen, in weissen Zügen dieselbe Schrift bilden, die mit isolirender Dinte auf das Blatt in B geschrieben waren. Da sich bei vollkommener Uebereinstimmung der Uhrwerke, welche an beiden Stationen die Walzen treiben, doch beide Walzen mit grosser Geschwindigkeit drehen können, so ist es möglich geworden, auf diese Art in einer Minute mehr als hundert Worte zu telegraphiren. Die gleichförmige Drehung der Walzen aber kann ebenfalls durch Elektromagnetismus bewirkt werden.

Statt der eisernen Anker, welche ihren Elektromagnetismus nur langsam verieren und daher nicht schnell genug abgerissen werden, wendet man in neuerer Zeit Magnete an, die mit den gleichnamigen Polen dem Elektromagnet gegenübertehen.

Zu längern Mittheilungen in Zeichenschrift, ähnlich der *Morse*'schen, hat *Wheatstone* einen, dem beim Privattelegraphen ähnlichen Mechanismus und gleichalls den magnetischen Inductions-Apparat angewandt. Dieser Telegraph heisst der *utomatische.* Vor Benutzung der Leitung wird das Telegramm durch den *Perforaor,* eine kleine Maschine, die in einen Papierstreifen Löcher macht, welche in drei Reihen stehen, wie

```
O OO       OO  O
oooooooooooooooooooooooo
O   O OOO O    OO
```

ibersetzt. Die oberen O bezeichnen Punkte, die untern Striche und die kleinern lienen zum Fortschieben des Streifens in dem *Translator,* wenn die ganze Depesche ertig ist. Dieser hat eine ähnliche Einrichtung wie der Morse'sche Telegraph. Der Papierstreifen läuft über eine metallne Walze, auf der eine ringsum gehende Reihe Stiftchen ist, in welche die mittlere Löcherreihe passt, um beim Drehen der Walze fortgeschoben zu werden. An den durchlöcherten Stellen oben und unten geht der Strom von einem Stift auf die Walze, an den andern nicht. Dadurch wird bewirkt, dass sich auf der betreffenden Station die Depesche auf einen andern Papierstreifen mit Dinte in Punkten und Strichen vermittelst des *Recipienten* niederchreibt. Diese Schrift wird wieder durch einen vierten Apparat in gewöhnliche Schrift verwandelt. Auf diese Art hat *Wheatstone* die Zeit, während welcher der Telegraphendraht benutzt wird, auf ein Minimum gebracht, indem der Translator 00 Buchstaben in *einer* Minute auf den Recipienten überträgt.

Wenn bei einer in's Meer oder in die Erde versenkten Leitung eine Veretzung stattgefunden hat, so entsteht eine Nebenschliessung. Den Abstand x, in welchem diese von dem Kabelende A liegt, findet man durch das im §. 444, Anm., ngegebene Diagramm oder die *Brücke* von *Wheatstone.* Dort sei abc die Leitung on der Länge L und dem reducirten Widerstand R und die Verletzung im Abstand $ab = x$. In gleichen Entfernungen von a und c wird dann in d ein Galvanometer inerseits, mit der Leitung adc andererseits mit dem Wasser oder der Erde verunden. Dann gehen entgegengesetzte Ströme durch bd. Schaltet man nun zwischen a und d, sowie zwischen d und c zwei Rheostaten ein und ändert ihre Widerstände, is die Galvanometernadel auf Null steht, so ist, wenn diese Widerstände W_1 und W_2 ind, $x \cdot W_2 = y \cdot W_1$ und da $y = R - x$ die Länge $x = \frac{R\,W_1}{W_1 + W_2}$.

§. 526.

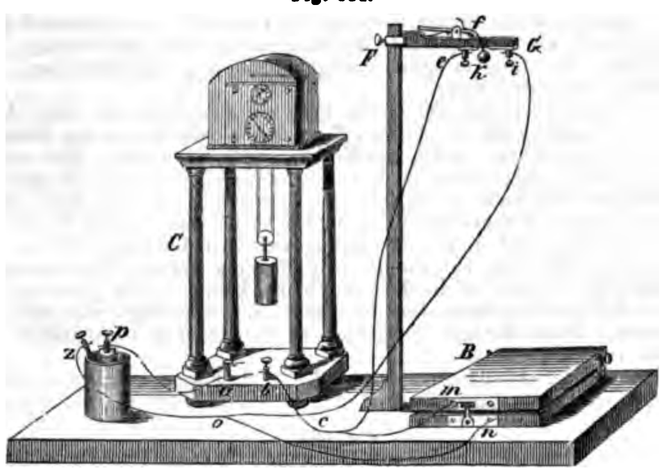
Unter den verschiedenen Anwendungen des Elektromagnetismus ist für die Physik keine von grösserer Wichtigkeit, als die dadurch möglich gewordene Messung sehr kleiner Zeittheilchen. Das erste elektromagnetische *Chronoscop* hat *Wheatstone* angegeben. Dasselbe ist von *Hipp* in Neufchâtel wesentlich verbessert worden, und besteht aus einem Uhrwerk mit zwei Zifferblättern und zwei Zeigern. Der eine Zeiger gibt $^1/_{10}$ Sekunde, der andere den 100sten Theil davon, also $^1/_{1000}$ Sekunde an. Dieses Uhrwerk wird durch ein Gewicht in Bewegung gesetzt. Die Hemmung oder das Echappement besteht aus einem gezahnten Rädchen und einer Feder, welche 1000 Schwingungen in 1 Sekunde macht. Bei jeder Schwingung geht das Rädchen um *einen* Zahn weiter. Ist das Uhrwerk ausgelöst oder in Gang gesetzt, und man hört den gleichmässigen Ton seiner Feder, so ist auch der Beharrungszustand in dem Gang des Uhrwerks eingetreten. Dieser Beharrungszustand kann mehrere Minuten lang erhalten werden, ehe man das Gewicht wieder aufziehen muss. Mit diesem Uhrwerk steht ein Elektromagnet auf folgende Art in Verbindung: So lange ein elektrischer Strom durch den um ihn gewundenen Draht geht, sind die Zeiger des Uhrwerks gehemmt und stehen still, während sonst alle Theile der Uhr ihren gleichförmigen Gang haben. In dem Augenblick aber, in welchem der Strom unterbrochen wird, gehen die Zeiger mit, ohne dass dadurch die Gleichförmigkeit des Gangs der Uhr im Mindesten gestört ist. Sobald aber der Strom wieder hergestellt wird, welcher das Eisen des Elektromagnets umkreist, stehen auch die Zeiger wieder still, ohne dass darum das Uhrwerk gehemmt ist. Man kann also an den Zifferblättern die Zeit ablesen, welche während der Unterbrechung des Stromes verflossen ist. Bei Versuchen über die Zeit, welche ein Körper braucht, um von 1, 2, 3, 4 . . . . Decimeter Höhe herabzufallen, stimmen die Angaben dieses Chronoscops bis auf $^1/_{1000}$ Sekunde mit der Theorie überein, und man kann also mit Gewissheit Zeitunterschiede von $^1/_{500}$ Sekunde messen. Die Resultate, die es gibt, sind genauer als die mit *Atwood's* Fallmaschine (siehe §. 72). Ausserdem lässt er sich zur Messung der grössten Geschwindigkeit gebrauchen.

Die Fallzeit eines Körpers wird mit Hilfe des Chronoscops *C*, Fig. 664, auf folgende Art gemessen. Von einer einfachen Platin-Zinkkette *pz* führt ein Draht nach der Klemmschraube *a*. Der Strom geht von dieser durch eine der Säulen hinauf zu dem hinter dem Uhrwerk befindlichen Elektromagnet, und nachdem er diesen umkreist hat, geht er herab zu der Klemmschraube *b*. Von *b* geht er nach *c*, wo zwei Drähte *cm* und *ce* sich vereinigen. In der jetzigen Stellung des Fallapparates *FB* kann der Strom bei *m* nicht weiter gehen; dagegen bewegt er sich von *c* nach dem hölzernen Galgen *G* zu dem Metallstück *e*, welches nur durch die Messingkugel *k* mit einem andern Metallstück *i* leitend verbunden ist, durch diese Kugel *k* ohne Hinderniss nach *o* und zurück zum Zink *z*. Die Kugel *k* hängt an einem Faden, der gespannt und von der Feder *f* festgeklemmt wird, damit die Kugel beide Stücke *e* und *i* berührt. Sobald man die Feder *f* drückt, fängt die Kugel *k* zu fallen an. Nun ist der Strom unterbrochen, weil er nicht mehr von *e* auf *i* übergehen kann, und die Zeiger des Chronoscops bewegen sich. Wenn aber die Kugel *k* auf der hölzernen Brücke *B* aufschlägt, so stellt sie durch den Stoss eine leitende Verbindung oder Berührung zwischen den Metallplättchen *m* und *n* her. Der Strom ist jetzt wieder hergestellt, denn er geht jetzt von *b* nach *c* und *m*; von da nach *n* und durch *o* zurück zum Zink. Die Zeiger stehen also wieder still und die Differenz ihrer vorigen und der jetzigen Stellung gibt die Zeit an, welche

die Kugel gebraucht hat, um vom Galgen G auf die Brücke B zu fallen. Der Galgen G ist beweglich und kann in verschiedenen Höhen über der Brücke B befestigt werden.



Fig. 664.



Um mit Hilfe des Chronoscops z. B. die Zeit zu messen, welche eine Pistolenkugel braucht, um den Raum von 1 oder 2 Meter zu durchlaufen, befestigt man an der Mündung der Pistole einen hölzernen Ring, spannt darüber einen feinen Draht und setzt diesen am einen Ende mit dem Leitungsdraht *bc* des Chronoscops und an dem andern mit *zo* in Verbindung. Der Mündung der Pistole gegenüber stellt man eine ähnliche Brücke, wie *B* auf, nur muss sie stärker construirt sein, und setzt die Metallplättchen *m* und *n* auf gleiche Art, wie oben, mit den Drähten *bc* und *zo* in Verbindung. Feuert man nun die Pistole ab, so zerschneidet die Kugel zuerst den über ihre Mündung gespannten Leitungsdraht; der Strom wird daher unterbrochen. Sobald die Kugel die Brücke erreicht, stellt sie ihn aber wieder her, und die in der Zwischenzeit veränderte Stellung der Zeiger gibt den Zeitraum an, welchen die Kugel von der Mündung bis zur Brücke gebraucht hat. Auf ähnliche Art kann man die Zeit messen von dem Augenblick, wo das Pulver entzündet wird, bis zu dem, wo die Kugel den Lauf verlässt u. s. w. Auch die Geschwindigkeit des Lichts und der Elektrizität liesse sich mit diesem Apparat in Verbindung mit noch einigen andern Vorrichtungen messen.

Die erste Anwendung des Elektromagnetismus auf Uhren hat *Steinheil* gemacht, indem er eine Pendeluhr, deren Gang genau war, so mit andern, minder genauen Uhren verband, dass diese nach jeder halben Stunde von der ersten gerichtet wurden. Aber auch die grösste Anzahl Uhren, von denen nur eine ein genaues Gehwerk hat und die andern alle bloss Zeigerwerke sind, kann man in vollkommen gleichem Gange erhalten, selbst wenn sie in allen Theilen einer Stadt oder eines Landes zerstreut sind. Um diess zu erreichen, brachte *Wheatstone* an der ersten Uhr eine Vorrichtung an, vermöge deren bei jedem Pendelschlag eine damit in Verbindung stehende Batterie geöffnet und beim darauf folgenden wieder geschlossen wurde. Von dieser Uhr führt ein Draht zu den andern Uhren ohne Feder und ohne Pendel, deren jede aber einen Elektromagnet enthält, welcher durch Abreissen und Anziehen eines Ankers nun einen Sekundenzeiger auf dieselbe Art in Bewegung setzt, wie oben der Zeiger an dem Buchstaben-Telegraph bewegt wurde.

Statt eine Uhr durch Gewichte oder Federn in Bewegung zu erhalten, kann man eine der obigen constanten Ketten anwenden oder nach dem Beispiel von *Bains* auch eine Zink- und eine Kupferplatte als Elektromotoren in die Erde versenken und den elektrischen Strom, der durch sie erzeugt wird und ziemlich constant bleiben soll, als Triebkraft benutzen. Zu diesem Zweck ist am untern Theil der Pendelstange eine Rolle von mehreren tausend Windungen feinen Kupferdrahts angebracht, dessen Enden an der Pendelstange hinaufführen, und mit den in die

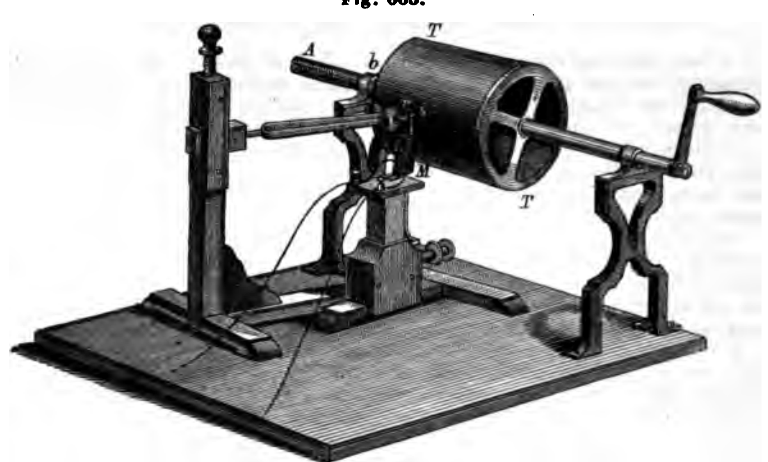
Erde versenkten Platten in Verbindung stehen. Zwei Stahlmagnete sind neben dem Pendel so angebracht, dass sie abwechselnd in das Innere der schwingenden Drahtrolle treten. So oft das Pendel die lothrechte Linie passirt, kehrt ein an ihm angebrachter Commutator die Richtung des den Draht durchlaufenden Stromes um, und indem nun die Stahlstäbe an den einander gegenüberstehenden Enden gleichen Magnetismus haben, stösst immer der eine die Drahtrolle ab, während der andere sie anzieht. Sobald sie die lothrechte Stellung passirt hat, und vermöge der Trägheit nach gleicher Richtung fortgeht, erfolgt Abstossung von dieser und Anziehung von der entgegengesetzten Seite.

Eine vorzügliche Kette, um Uhren über ein Jahr lang auf obige Art in gleichem Gang zu erhalten, ist die Alaun-, Zink- und Coaks-Kette von *Faraday*, oder auch die Weinstein-, Zink- und Coaks-Kette, vergl. Seite 561. Man nimmt dazu einen grossen Topf, hängt einen Sack mit Zink und Alaun oder Weinstein hinein, legt einen langen Bleidraht in den Raum zwischen Sack und Topf, füllt diesen ausserdem mit kleinen Coaksstücken an und schüttet nun so viel Wasser dazu, als hineingeht. Der Bleidraht dient zur Leitung zwischen den Coakstücken.

Eine andere Methode hat *Pouillet* zur Messung kleiner Zeitintervalle in Anwendung gebracht, indem er die Zeit durch die kleinere oder grössere Ablenkung der Magnetnadel des Galvanometers bestimmt, die allerdings von der Dauer des Stromes abhängt. Diese Methode ist jedoch sehr schwierig anzuwenden und nicht so genau als das Chronoscop.

Genauer ist der *Phonautograph* von *König* in Paris, welcher ausserdem dazu dient, die Schwingungen einer Stimmgabel graphisch darzustellen, Fig. 665. Um

Fig. 665.



den Metallcylinder T ist ein Papier befestigt, welches nachher durch die Lampe stark berusst wird. An die Stimmgabel ist ein feiner Spahn r von einer Federspule mit Wachs befestigt. Diese muss das Papier berühren und daher, wenn die Stimmgabel schwingt und der Cylinder mittelst der Kurbel gedreht wird, Wellenlinien wie Fig. 666 in den Russ zeichnen. Neben der Stimmgabel steht eine Drahtspirale M.

Fig. 666.



In dieser ist ein kleiner Magnet auf einer mit dem Cylinder parallelen Achse befestigt. An dem Magnet ist ein Stiftchen s angebracht, welches dazu dient, gerade Linien in das Papier zu ziehen, so lange es damit in Berührung steht. Geht ein Strom durch die Spirale, so wird das Stiftchen s zurückgezogen, wird dieser unterbrochen, so fällt es gegen den Cylinder. Findet dieses Unterbrechen von Sekunde

zu Sekunde statt, und sind *a* und *b* die Punkte in denen das Stiftchen auffiel, so ist die Zahl der Wellenberge zwischen *a* und *b*, die Zahl der Schwingungen in einer Sekunde; war aber der Strom nur während des Bruchtheils einer Sekunde unterbrochen, so kann man aus der Länge des entstandenen geraden Striches und der Zahl der daneben sichtbaren Wellenberge die verflossene Zeit finden. Ein Sekundenpendel muss mit einem Stromunterbrechungs-Apparat in Verbindung stehen. Bei Zeitbestimmungen, die länger als eine Umdrehung der Kurbel sind, müssen die geraden und die Wellenlinien neben einander fortlaufen, desshalb ist die Achse des Cylinders vornen verschiebbar und hinten bei *A* schraubenförmig geschnitten. Dieses Ende läuft in einer Schraubenmutter *b*; die durch *r* und *s* während der Drehung der Kurbel in den Russ gezeichneten Linien bilden darum Spiralen, welche durch Befeuchten der Rückseite des Papiers mit Weingeist fixirt werden, indem das im Russ befindliche Harz beim Trocknen der entstandenen Weingeistlösung als Bindemittel dient.

§. 527.

Der Elektromagnetismus oder das durch den elektrischen Strom in unmessbar kleiner Zeit bewirkte Magnetischwerden des Eisens hat auf den Gleichgewichtszustand und die Bewegung der Molekule einen sehr merkwürdigen Einfluss. So hat *Page* gefunden, dass ein Eisenstab, der von einer Drahtspirale umgeben ist, in dem Augenblick tönt, in welchem ein Strom darin eingeleitet oder unterbrochen wird. Man nimmt dazu am besten einen weichen Eisenstab von 1 bis 2 Meter Länge und 1 Centim. Dicke, und bringt ihn so in die Mitte eines gleichlangen Glasrohrs, dass er horizontal und frei darin schwebt. Letzteres umwickelt man mit Kupferdraht von 1 Millim. Dicke. Der Ton, welchen man beim Schliessen oder Oeffnen einer starken Kette hört, ist ein Längenton, welcher beweist, dass der Strom den Stab abwechselnd verlängert und verkürzt. Diess geht auch aus den Untersuchungen von *Wertheim* hervor. Sie beweisen ferner, dass, wenn ein Strom durch den Spiraldraht oder durch die Eisenstange selbst geht, seine Wirkung vollkommen derjenigen analog ist, die eine mechanische Kraft in der nämlichen Richtung hervorbringen würde. Ist daher die Eisenstange in Mitte des Helix, so heben sich die Transversalwirkungen auf, und es findet nur eine Längenwirkung statt; befindet sie sich aber ausserhalb, so gibt es auch Transversalwirkungen. *Poggendorff* hat in der Folge gefunden, dass, wenn man eine Drahtspirale mit einer Metallröhre umgibt, die der Länge nach aufgeschnitten ist und deren Ränder an einander stossen, sie sei von Platin, Kupfer, Eisen oder einem anderen Metall, bei der Unterbrechung des durch die Drahtspirale gehenden Stromes sich stets ein Ton hören lässt. Diess ist aber bei ganz geschlossenen oder ganz offenen Röhren nicht der Fall.

Joule hat gefunden, dass wenn ein Eisenstab in der Nähe der Pole eines Elektromagnets schnell gedreht wird und also seinen Magnetismus schnell wechselt, Wärme in ihm entsteht, deren Menge dem Quadrat des in ihm erzeugten Magnetismus proportional und der Arbeit äquivalent ist, welche auf die Drehung verwendet wurde. In der Folge haben *Breda* und *Grove* durch Versuche bewiesen, dass das Eisen bei diesem Magnetischwerden erwärmt wird, wenn es mittelst eines Blitzrades schnell und oft hinter einander magnetisirt und wieder entmagnetisirt wird.

Eine andere Schall-Erregung durch den Elektromagnetismus ist folgende: Wenn man den Strom, welcher den Elektromagnetismus her-

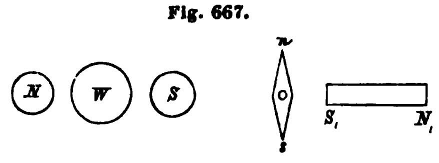
vorbringt, unterbricht, so entsteht ein Schall, der um so stärker ist, je näher an den Polen des Elektromagnets diese Unterbrechung stattfindet, und nahe dabei zu einem lauten Knall wird. Die Ursache davon ist wahrscheinlich in der abstossenden Kraft des Magnetismus gegen die bei Unterbrechung des Stroms übergeführten Metalltheile zu suchen. Durch Annäherung wird er rascher unterbrochen und so der Knall heftiger.

§. 528.

Mit Hilfe eines starken Elektromagnets lassen sich alle in dem §. 409 erwähnten Erscheinungen des Magnetismus und des Diamagnetismus leicht nachweisen. Man stellt ihn zu diesem Zweck so auf, dass die beiden Schenkel des Hufeisens vertikal aufwärts stehen. Die auf ihren Magnetismus oder Diamagnetismus zu untersuchenden Substanzen werden an Coconfäden zwischen den Polen des Magnets aufgehängt. Letztere werden durch zwei Halbanker gebildet, welche horizontal auf den obern Enden des Hufeisens einander gegenüber liegen und zugleich mit diesem magnetisch werden. Diese Halbanker sind parallelepipedische starke Eisenstücke, von gleicher Breite mit dem Durchmesser der Schenkel des Hufeisens. Sie werden an dem einen Ende in Form von abgestumpften Kegeln zugespitzt, und können mit diesen kegelförmigen Enden einander bald mehr, bald weniger genähert werden, indem man sie auf die obern, ebenen Flächen des Hufeisens legt und durch Schrauben oder auf andere Weise festhält. Alle Körper, welche nur im geringsten magnetisch sind, stellen sich zwischen diesen Polen axial, und werden, wenn man nur einen Pol anwendet, von ihm angezogen. Alle diamagnetischen Substanzen dagegen werden zwischen den beiden Polen äquatorial gestellt und nur von *einem* Pol abgestossen. Doch ist die diamagnetische Abstossung im Verhältniss zur magnetischen Anziehung sehr gering.

Nach vielen Versuchen von *Reich*, *W. Weber*, *Tyndall* und Andern erlangt auch der diamagnetische Körper zwischen den Polen eines Magnets eine diamagnetische Polarität, und zwar dem Südpol gegenüber einen Südpol, dem Nordpol gegenüber einen Nordpol. Diess lässt sich durch einen ältern Versuch von *Weber* leicht nachweisen. Er hieng in der Nähe des Pols *S*, Fig. 667, von einem starken Hufeisen-Magnet *NS* eine kleine Magnetnadel *n s* auf, und brachte sie durch Annähern eines Magnetstabes $N_1 S_1$ in eine zur Verbindungslinie der Pole *N*,*S* senkrechte Lage. Als er nun zwischen die Pole *N*, *S* ein Stück Wismuth *W* legte, wurde der Pol

Fig. 667.



s der Magnetnadel abgestossen; muss also *W* auf der Seite gegen *S* einen Südpol erhalten haben. Durch die Messungen von *E. Becquerel* ist erwiesen, dass wie bei den paramagnetischen Körpern, so auch bei den diamagnetischen, *die Grösse der in ihnen erzeugten Diamagnetkraft direct der magnetisirenden Kraft proportional ist.* In Folge dieser Abstossung entfernt sich Wismuthpulver, welches man auf ein den Magnetpol bedeckendes Papier siebt, von dem Pol, und bildet zwischen

zwei Polen andere, als die durch Eisenfeile entstehenden magnetischen Curven.

In Körpern, welche sehr wenige magnetische Bestandtheile enthalten und sonst diamagnetisch sind, kann je nach der Wirkung des Elektromagnets, bald die Abstossung, bald die Anziehung überwiegend sein. So hat *Plücker* beobachtet, dass z. B. Buchsbaumkohle in der Nähe der beiden Magnetpole bei starkem Strome sich äquatorial stellt, und in grösserer Entfernung die axiale Lage annimmt. Ist nämlich das Maximum des in ihr erregbaren Magnetismus in einer gewissen Entfernung schon erreicht, so kann durch Annäherung an den Magnet der Diamagnetismus noch steigen, während der Magnetismus nicht mehr zunimmt. War also die magnetische und die diamagnetische Wirkung auf den Körper in jener Entfernung gleich, so wird nun die diamagnetische grösser. Daher kann auch bei der Annäherung an den Magnet die diamagnetische Wirkung grösser als die magnetische werden, und bei der Entfernung die letztere überwiegen.

Mit Hilfe einer eisenfreien oder gläsernen Waage untersuchte *Plücker* die magnetische Anziehung und Abstossung paramagnetischer und diamagnetischer Körper von *gleicher Masse*, um ihren *spezifischen Magnetismus* oder *Diamagnetismus* zu finden. Die Pole eines Elektromagnets waren einander so nahe gestellt, dass eine Uhrschale oder ein anderes Gefäss, in welchem sich der zu untersuchende Körper befand, beide zugleich berührte. Diese Schale hing an einem Arm der Waage, und es wurde nun das Gewicht bestimmt, welches nothwendig war, die Anziehung des paramagnetischen Körpers oder die Abstossung des diamagnetischen zu überwinden. Feste Körper wurden in Pulverform untersucht, Flüssigkeiten in Schälchen von gleichem Volumen, Gase in kleinen Ballons. Der Elektromagnetismus wurde bald durch *ein*, bald durch *zwei*, *drei*, *vier* *Grove*'sche Elemente inducirt. Es zeigte sich, dass bei allen untersuchten Körpern, der spezifische Magnetismus sich mit der inducirenden Kraft ändert, wie z. B. auch die spezifische Wärme der Körper von der Temperatur abhängt, die sie schon angenommen haben, und dass es darum keine Einheit für den Magnetismus gibt, wie für das spezifische Gewicht. Setzt man z. B. den spezifischen Magnetismus des Eisens bei der Anwendung der einfachen inducirenden Kraft oder *eines* *Grove*'schen Elementes gleich 1000, so ist die des Kobalts gleich 1009. Bei der zweifachen inducirenden Kraft sei der spezifische Magnetismus des Eisens wieder gleich 1000, so ist der des Kobalts nur 968, also kleiner. Der inducirte Magnetismus ist der inducirenden Kraft nicht proportional, nähert sich aber diesem Verhältniss. Die Ursache davon ist die, dass in jedem Körper die magnetische oder diamagnetische Erregung einen Widerstand zu überwinden hat. Bei jedem Körper tritt bei zunehmender inducirender Kraft zuletzt eine Sättigung ein. Indem ein Gemenge aus magnetischen und diamagnetischen Substanzen bei einer gewissen Grösse der inducirenden Kraft weder angezogen noch abgestossen werden kann, wird es sich bei Aenderung dieser Kraft bald magnetisch, bald diamagnetisch zeigen. Manche Lösungen von paramagnetischen Körpern werden um so stärker angezogen, je concentrirter sie sind. Das Wasser ist diamagnetisch und wird stärker abgestossen, als Alkohol oder Schwefelsäure. Von den Gasen und Dämpfen ist nach

Faraday's Entdeckung nur der Sauerstoff paramagnetisch, und zwar um so mehr, je dichter er ist. Mit der Wärme nimmt der Paramagnetismus des Sauerstoffs zu, der Diamagnetismus der andern Gase erleidet aber dadurch keine Veränderung. Von allen Gasen und Dämpfen ist der Wasserstoff am stärksten diamagnetisch, der Stickstoff aber am schwächsten oder ganz indifferent. Die Flamme einer Kerze wird darum von den Magnetpolen abgestossen oder, wenn sie zwischen zwei solchen Polen sich befindet, zusammengedrückt.

Setzt man den spezifischen Magnetismus des Eisens bei der inducirenden Kraft 1 oder 2 des Stromes gleich 1000000, so ist nach *Plücker* bei nachstehenden Körpern der spezifische Magnetismus oder Diamagnetismus ausgedrückt durch folgende Zahlen:

	bei 1.	bei 2.
Eisen . . .	1000000	1000000
Kobalt . . .	1009000	968800
Nickel . . .	465800	408500
Eisenoxyd . .	759	866
Nickeloxyd . .	287	356
Wasser . . .	— 25	—
Wismuth . .	— 23,6	31,0
Phosphor . .	— 13,1	16,5

Auch mit schwächeren Elektromagneten kann man die Anziehung oder den Magnetismus von Platina, Eisenlösung, gewöhnlichem Papier oder Holz, so wie die Abstossung oder den Diamagnetismus von Wismuth, Kupfer, Silber u. s. w. schon nachweisen. Eben so lässt sich der in §. 409 erwähnte scheinbare Diamagnetismus einer schwach magnetischen Flüssigkeit, z. B. einer Nickellösung in einer stärker magnetischen Eisenvitriollösung, damit zeigen. Die Abstossung der optischen Achsen der Krystalle weist man am leichtesten mit Hilfe eines wasserhellen Doppelspaths nach, der mit Wachs an einem Coconfaden befestigt ist. *Grailich* und *Lang* haben durch Versuche die Meinung von *Tyndall* bestätigt, dass die Richtung der Krystallachsen von der verschiedenen Dichte der Molekulschichten abhänge, indem sie fanden, dass alle isomorphen Körper unter den nämlichen Umständen die nämliche Richtung annehmen. Die Entstehung ähnlicher Erscheinungen durch den schichtenförmigen Bau der Körper zeigt man durch ein Kügelchen aus Sonnenblumenmark. Giesst man etwas Eisenvitriollösung in ein flaches Uhrglas, und bringt man dieses unter die Pole der beiden Halbanker, so sieht man aus der Gestalt, welche die Flüssigkeit annimmt, ihre Anziehung; befindet sich aber Blutlaugensalzlösung, Blut oder Milch in der Schaale, so ist die Abstossung ebenfalls leicht an der Gestaltsveränderung zu erkennen. Magnetismus und Diamagnetismus zugleich zeigt nach *Plücker* der Turmalin und andere Krystalle. Der Turmalin ist in der Richtung seiner optischen Achse diamagnetisch und in jeder andern Richtung paramagnetisch. Nähert man ihn den Magnetpolen oder entfernt man ihn, so tritt die Anziehung oder die Abstossung hervor.

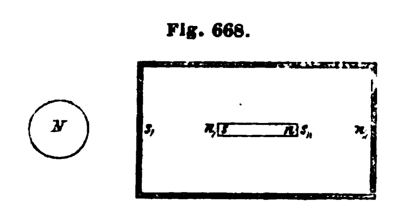
§. 529.

Um sich die in dem vorigen §. erwähnten Erscheinungen des Diamagnetismus zu erklären, nehmen *Faraday*, *Weber*, *Poggendorff* und Andere an, es würden in dem diamagnetischen Körper durch Entstehung des Magnetismus oder durch Annäherung an einen Magnet elektrische Ströme nach entgegengesetzter Richtung inducirt. Dem Nordpol des Elektromagnets gegenüber muss dann im Wismuthstäbchen ein Nordpol, dem Südpol gegenüber ein Südpol entstehen. Ein Wismuthstäbchen kann einem gewöhnlichen Magnet nach §. 409 ebenfalls nicht genähert werden, ohne dass in ihm Ströme nach entgegengesetzter Richtung, als die hypothetischen Ströme *Ampère's* entstehen, und muss also gleichfalls abgestossen werden. Für diese Annahme spricht die Messung von *Reich*,

wornach die drehende Wirkung zweier verschiedenen Magnete auf ein Wismuthstäbchen, wenn der Nordpol des einen und der Südpol des andern nur von *einer* Seite auf dasselbe wirken, nicht der Summe, sondern der Differenz dieser Kräfte entspricht. Nähert man darum dem von dem Nordpol eines Elektromagnets abgestossenen Wismuthstäbchen auf derselben Seite den Südpol eines andern Magnets, so wird es nach *Poggendorff* von diesem angezogen.

Der Unterschied zwischen diamagnetischen und magnetischen Körpern bestünde nach dieser Ansicht darin, dass in erstern, bei der Annäherung an einen Magnet, elektrische Ströme nach entgegengesetzter Richtung, in letztern Ströme nach gleicher Richtung wirksam auftreten. Es entsteht nur die Frage, wodurch sich die um die Molekule des diamagnetischen Körpers entstehenden Ströme von denen des paramagnetischen unterscheiden. Von letztern haben wir im §. 512 angenommen, dass sie in den Molekulen senkrecht zu ihrer Achse schon vorhanden sind, und dass durch die Einwirkung magnetisirender Kräfte die Achse der Molekule gleiche oder nahezu gleiche Richtung erhalten. In den diamagnetischen Körpern sind keine solche beständigen Molekularströme vorhanden, sondern sie werden erst durch die Magnetkraft inducirt und haben daher entgegengesetzte Richtung mit den inducirenden Molekularströmen eines Magnets. Diese Molekularströme müssen dann so lange fortbestehen, als die magnetische Einwirkung von aussen dauert. Hieraus erklärt sich dann auch die im §. 409 erwähnte Erscheinung, dass die Anziehung oder Abstossung eines paramagnetischen oder diamagnetischen Körpers durch einen Magnet, wenn der Körper in eine Flüssigkeit eingetaucht ist, sich wie bei dem im §. 104 erwiesenen Archimedischen Gesetz gerade um so viel ändert, als die diamagnetische Abstossung oder magnetische Anziehung des verdrängten Theils der Flüssigkeit beträgt. Ist z. B. ein Paramagnet, Fig. 668, gegenüber vom Nordpol N, und umgeben von einer stärker paramagnetischen Flüssigkeit $s_{,}\ n_{,}$ und $s_{,,}\ n_{,,}$, so ist $n_{,}$ stärker als s; es findet also an der Berührungsstelle noch ein Ueberschuss von Nordpol-Magnetismus statt, folglich Abstossung. Auch der Diamagnetismus eines Körpers wird durch Temperaturerhöhung geschwächt, wie der Magnetismus.

Fig. 668.



§. 530.

Mit den Erscheinungen des Diamagnetismus stehen folgende Entdeckungen *Faraday's* über die Drehung der Schwingungsebene eines polarisirten Lichtstrahls durch den Magnetismus in Verbindung, wesshalb sie hier und nicht früher erwähnt werden.

Wenn man zwei eiserne Halbanker der Länge nach durchbohrt, und so auf die Polenden einen kräftigen Elektromagnets legt, dass ihre Durchbohrungen einen einzigen geraden Kanal bilden, so hat man nach Schliessung des Stromes, der den Magnetismus hervorruft, einen Raum, der von elektrischen Strömen umkreist ist, die alle nach einerlei Richtung gehen. Dasselbe ist auch der Fall, wenn man die beiden Halb-

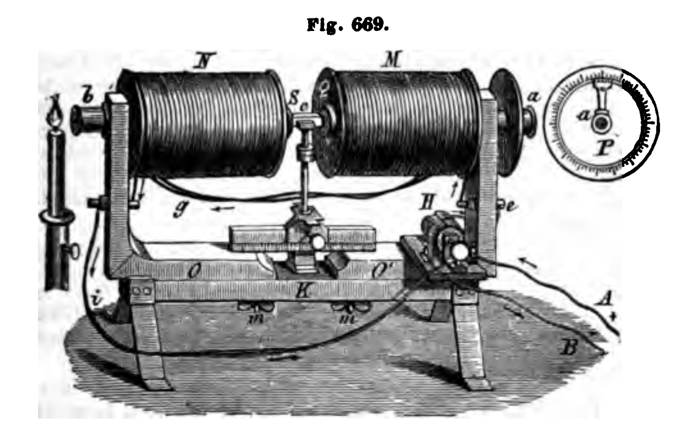
anker ein wenig von einander trennt und irgend einen Körper dazwischen bringt. Ist dieser Körper durchsichtig, so kann man durch ihn in der Richtung der magnetischen Kraft von einem Ende des Kanals zum andern sehen. Leitet man nun einen polarisirten Lichtstrahl durch diesen Kanal, und folglich auch durch den zwischen die Halbanker gebrachten Körper, so bemerkt man in manchen Fällen, dass die Schwingungsebene dieses Lichtstrahls eine Drehung erlitten hat, und zwar in der nämlichen Richtung, in welcher die hypothetischen Ströme *Ampère's* das magnetische Eisen umkreisen. Füllt man aber eine Glasröhre mit Zuckerlösung, Terpentinöl oder einer andern Flüssigkeit, welche, wie in §. 285 angegeben wurde, die Schwingungsebene eines polarisirten Strahles rechts oder links zu drehen vermag, so wird diese Drehung vermehrt oder vermindert, je nachdem die hypothetischen Ströme des Magnets nach gleicher oder entgegengesetzter Richtung gehen. Die Röhre muss zu diesem Zweck an beiden Enden durch ebene Glasplatten geschlossen sein. Indem ein, die Polarisationsebene des Lichts drehender Körper die Drehung nach derselben Richtung bewirkt, ob das Licht von der einen oder von der entgegengesetzten Seite eindringt, so wird diese Drehung durch die Magnetpole bald vermehrt, bald vermindert. Geht also z. B. in die mit Terpentinöl, welches links dreht, gefüllte Röhre, das Licht vom Südpol zum Nordpol, so wird die Drehung vermehrt. Geht das Licht vom Nord- zum Südpol, so wird sie vermindert. Dasselbe findet auch beim Bergkrystall und andern die Schwingungsebene von selbst drehenden Krystallen statt. Unter den festen Körpern, die erst unter dem Einfluss des Magnets vorübergehend dieses Vermögen erlangen, und daher in der einen Richtung links in der andern rechts drehen, zeichnen sich die schweren Glassorten, das *Faraday*'sche Bleiglas, Bleisilicat und Steinsalz aus. Alle diese Körper werden in parallelepipedischer Form angewandt, und müssen zwei einander gegenüber stehende, parallele und polirte Flächen haben, durch welche man längs der Verbindungslinie beider Pole deutlich sehen kann. Diese Drehung erfolgt nach denselben Gesetzen, welche für den Bergkrystall im §. 284 angegeben wurden, und beträgt also um so mehr, je dicker, bei gleichbleibender magnetischer Wirkung, der zwischen die Pole des Magnets gebrachte Körper ist. Da aber die magnetische Wirkung der offenen Halbanker auf einander mit dem Abstand dieser Pole abnimmt, so wird die Drehung schwächer, und nimmt nach *Bertin* in geometrischer Proportion ab, wenn der Abstand in arithmetischer Ordnung wächst. Bei sonst gleichen Verhältnissen wächst die Drehung proportional der Strom-Intensität. Sie ist, wie bei der gewöhnlichen Drehung, um so grösser, je kleiner die Wellenlänge der Lichtfarbe ist. Auch hier findet sich Uebereinstimmung zwischen Licht und strahlender Wärme, indem durch *De la Prevostaye* und *Desains* die Drehung der Polarisationsebene von Wärmestrahlen durch den Elektromagnetismus gleichfalls nachgewiesen ist. In einer zur Verbindungslinie der Magnetpole senkrechten Richtung findet eine solche Drehung der Polarisationsebene nicht statt.

Indem *Verdet* verschiedene Lösungen zwischen die Pole des Elektromagnets brachte, fand er, dass das *Drehvermögen der Lösung eines Salzes nahezu gleich ist der Summe der Drehvermögen des in der Lösung enthaltenen Wassers und Salzes.* Nun ist in den meisten Salzlösungen

mit *diamagnetischem Radical*, wie Magnesium, Kalium, Natrium u. s. w., das *Drehvermögen grösser als das des Wassers*, und bei Salzlösungen mit *magnetischem Radical*, z. B. Eisenvitriol, oft *kleiner als das des Wassers*. Im ersten Eall ist daher das Drehvermögen der Salzlösung *positiv*, im zweiten *negativ*, wenn das des Wassers *positiv* ist.

Sehr bequem zu den diamagnetischen Versuchen und zu denen über die Drehung der Polarisations-Ebene ist der Apparat von *Ruhmkorff*, Fig. 669. Er besteht aus zwei sehr starken Elektromagneten *M* und *N*, welche an zwei schweren Eisenbarren *O* und *O'* befestigt sind. Die letzteren lassen sich auf der eisernen Unterlage *K* verschieben, so dass die Pole *S* und *Q* einander mehr oder weniger genähert werden können. Der Strom einer *Bunsen*'schen oder *Grove*' schen Kette von 10 bis 12 Elemententritt durch den Polardraht *A* ein, geht durch einen Commutator *H* entweder in die Drahtspirale *M* und dann durch den Draht *g* in die Drahtspirale *N* und von da durch den Draht *i* nach *B* zum negativen Pol oder in umgekehrter Richtung. Die Schrauben *mm* dienen zum Feststellen der Eisenbarren *O O'* in einer beliebigen Entfernung. Auf dem darüber liegenden getheilten Stab kann die Entfernung des Körpers *c* von jedem der beiden beliebigen Pole abgelesen werden.

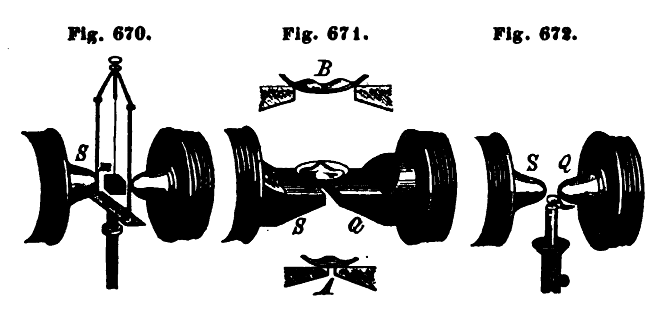
Fig. 669.



Für optische Versuche sind die weichen eisernen Cylinder *S* und *Q* der Achse nach durchbohrt. In *b* und *a* stecken zwei *Nicol*'sche Prismen. Das erste dient als Polarisateur, das zweite als Analyseur. Mit Hilfe einer Alhidade lässt sich das Prisma *a*, wie die daneben stehende Figur *P* zeigt, um einen beliebigen Winkel in dem getheilten Kreise drehen. Stellt man nun die beiden Prismen so, dass ihre Hauptschnitte senkrecht zu einander sind, so ist bei *a* das Licht, welches bei *b* steht, nicht sichtbar. Eben so wenig, wenn sich bei *c* ein Parallelepiped von Bleiglas oder Steinsalz befindet. So wie man aber mit Hilfe des Commutators *H* den Strom durch die Drahtspiralen leitet, erscheint das Licht, aber gefärbt, und wenn man nun den Analyseur nach der Richtung, die der elektrische Strom in der Spirale hat, dreht, so kommen die verschiedenen Farben des Spectrums wie bei einem senkrecht zur Achse geschnittenen Bergkrystall (vergl. §. 284) zum Vorschein.

Für die Abstossungsversuche mit diamagnetischen Körpern schraubt man an die Pole *S* und *Q* verschiedene Spitzen oder Stücke von Eisen, wie in Fig. 672. Hängt man alsdann, wie in Fig. 670, ein Stäbchen *m* von Wismuth oder einen andern diamagnetischen Körper zwischen ihnen auf, so stellt es sich senkrecht zur Achse des Elektro - Magnets. Ebenso können Flüssigkeiten in Glasröhrchen dazwischen aufgehängt werden.

Fig. 670. Fig. 671. Fig. 672.



Setzt man nach *Plücker* ein Uhrglas, welches eine Lösung von Chlor-Eisen enthält, wie in Fig. 671, auf die beiden Polareisen *S* und *Q*, so bilden sich, je nach dem Abstand der Pole, einer oder zwei Hügel, wie in *A* und *B*, sobald der Strom das Eisen magnetisirt. Die Abstossung der Gase und somit einer Lichtflamme, lässt sich, wie in Fig. 672, damit eben so leicht nachweisen. Bei einem stark russenden Talglicht, welches etwas tiefer als die beiden Pole gestellt wird, theilt sich der Russ in zwei Arme, die in der Aequatorialebene liegen und eine Parabel bilden, deren Scheitel in der Mitte der Pole liegt.

Windet man um einen Cylinder von Eisenblech einen starken umsponnenen Kupferdraht in vielen Windungen, und lässt man durch diesen den Strom einer mächtigen *Grove*'schen Kette gehen, so kann man die Drehung der Polarisationsebene in Flüssigkeiten, welche in Glasröhren hineingebracht werden, ebenfalls sehr deutlich sehen. Diese Drehung ist wahrscheinlich eine Folge von Bewegungen des Aethers, welcher die Atome des durchsichtigen Körpers umgibt. Aus der in §. 284 gegebenen Erklärung von der Circularpolarisation folgt, dass eine Beschleunigung der Fortpflanzung der Lichtschwingungen nach der einen oder andern Richtung Ursache derselben ist. Wenn aber der Aether selbst in Drehung versetzt wird, so müssen Schwingungen in der Richtung dieser Drehung schneller fortgehen, als in der entgegengesetzten Richtung.

Auch destillirtes Wasser, Alkohol, fette und ätherische Oele, Aether, Schwefelkohlenstoff, Salz- oder Eisenvitriollösung, kurz alle Arten von Flüssigkeiten erlangen durch den Magnetismus das oben beschriebene Drehungsvermögen. Durch Gase ist es bis jetzt nicht gelungen. Aendert man die Richtung des Stromes um den Elektromagnet oder den Eisencylinder, so wird natürlich auch die Drehungs-Ebene verändert.

Um den Weg des Lichtstrahls zu verlängern, ohne den Abstand der Pole zu vergrössern, kann man wie *Faraday*, die beiden polirten Flächen des parallelepipedischen Körpers versilbern und den untern Theil der einen Seite für den Eintritt des Lichtstrahls, den obern für seinen Austritt entblössen. Durch die innere Spiegelung wird der polarisirte Lichtstrahl nach seinem Eintritt mehrmal hin und her reflectirt, ehe er austritt, wenn die Achse des Parallelepipeds etwas schief gegen die magnetische Linie gestellt wird. Nach *Matthiesen* erhöht man auch die Drehung dadurch, dass man den wirksamen Glascylinder in die Achsen der hohlen Halbanker des Magnets steckt und dabei die Pole fast in Berührung bringt.

H. Erregung elektrischer Ströme durch Magnete.

(Magnet-Elektrizität.)

§. 531.

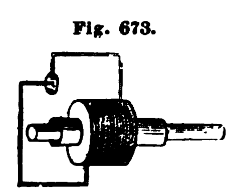
Aus der Aehnlichkeit zwischen dem Magnete und dem elektrodynamischen Cylinder schloss man, dass durch den Magnetismus auch Elektrizität müsse hervorgerufen werden können. Die Versuche, die man zu diesem Zwecke anstellte, führten lange Zeit zu keinem Resultate, bis *Faraday* fand, dass der Magnet nur durch Induction, also nur durch gegenseitige Annäherung oder Entfernung eines Magnets und eines unelektrischen Leiters, in dem letztern elektrische Ströme erzeugen könne. Alle Erscheinungen lassen sich nach dem im §. 500 angegebenen Inductions-Gesetze und unter Voraussetzung der *Ampère*'schen Theorie vom Magnete (§. 512) vollständig erklären. *Faraday* kam durch viele, zum Theil sehr mühsame Versuche zu diesem Resultate. Hier können nur die wichtigsten, und diese in solcher Ordnung angeführt werden, wie sie am belehrendsten sind.

§. 532.

Wenn man einen hohlen Schraubendraht, der an seinen Enden mit einem Multiplicator verbunden ist, schnell über den Pol eines Magnets bis zu seiner Mitte schiebt, so entsteht in ihm ein elektrischer Strom, dessen Richtung den Strömen um den Magnet entgegengesetzt ist. Im Zustande der Ruhe hört dieser Strom auf. Schiebt man aber den Schraubendraht von der Mitte über den Pol zurück, so entsteht ein Strom in ihm, der mit den Strömen des Magnetismus gleiche Richtung hat.

Bei einem Stabe von einem andern Metalle erhält man keine Wirkung. Auf folgende Art erhielt *Faraday* zuerst einen elektrischen Funken. Er nahm einen 20 Fuss langen, mit Seide übersponnenen Kupferdraht, Fig. 673, wickelte ihn auf eine hohle Pappröhre, und versah das eine Ende des Drahtes mit einer kleinen amalgamirten Kupferscheibe, das andere bog er so, dass es diese in der Mitte berührte. Wurde ein starker Magnetstab so in den Cylinder gesteckt, dass er das Ende des Drahtes von der Kupferplatte abheben musste, so entstand an der Trennungsstelle ein elektrischer Funke.

Fig. 673.



Lenz hat durch Versuche gefunden, dass die elektromagnetische Kraft, welche der Magnet in der Spirale erregt, bei gleicher Grösse der Windungen und bei gleicher Dicke und Substanz des Drahtes, direkt wie die Anzahl der Windungen sich verhalte, und dass sie der Summe der elektromotorischen Kräfte sämmtlicher Windungen gleich ist; dass sie aber unabhängig ist von der Grösse der Windungen, von der Dicke und Substanz des Drahtes. Ein Theil dieses Gesetzes wurde zugleich von *Faraday* entdeckt.

§. 533.

Der im vorigen §. erhaltene elektrische Strom ist das Resultat einer unmittelbaren Wirkung des Magnets. *Nobili* entdeckte, dass man auch die vertheilende Kraft, welche ein Magnet auf den Magnetismus des weichen Eisens ausübt, benutzen kann, um einen sehr starken elektrischen Strom hervorzubringen. Am besten nimmt man dazu einen starken Hufeisenmagnet, Fig. 674, und einen gleichgrossen Cylinder dcf von weichem Eisen, der ebenfalls in Form eines Hufeisens gebogen ist. Letztern umwickelt man, wie die Figur zeigt, mit vielen Lagen umsponnenen Kupferdrahtes, so dass d und f verschiedene Pole eines Solenoïdes werden. Setzt man alsdann die beiden Enden dieses Kupferdrahtes mit denen eines Multiplicatordrahtes in Verbindung, so zeigt sich, bei Annäherung des Magnets ab gegen die Pole d und f, das Entstehen eines elektrischen Stromes, und beim Entfernen desselben das eines andern Stromes in entgegengesetzter Richtung. Bringt man die beiden Drahtenden, wovon das eine wie in der vorigen Figur mit einem amalgamirten Kupferplättchen versehen ist, einander sehr nahe, so sieht man sowohl bei

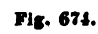
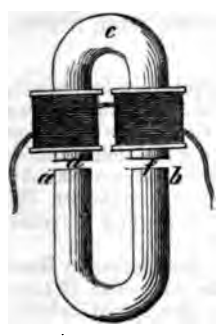


Fig. 674.



Annäherung als bei Entfernung des Magnets einen glänzenden Funken überspringen, und wenn der Magnet stark genug ist, und man leitet den entstehenden Strom durch den Körper, so erhält man einen Schlag, wie von einer kleinen Leidner Flasche. Diese Versuche erklärt das Inductions-Gesetz, wenn man, wie es die Sache verlangt, annimmt, dass beim Anlegen des unmagnetischen Ankers an den Magnet, die den Magnetpolen zunächst liegenden Eisentheilchen zuerst magnetisch oder von elektrischen Strömen nach einerlei Richtung umkreist werden, und dass diese Richtung, von den Enden bis zur Mitte, in einer unendlich kleinen Zeit von Theilchen zu Theilchen fortgepflanzt werde, als wenn von der einen Seite ein Nord-, von der andern ein Südpol plötzlich in den Schraubendraht gesteckt würde. Beim Abziehen des Ankers ist es so, als würden die beiden Pole wieder entfernt.

§. 534.

Wenn ein geradlinigter Leiter parallel über einem Magnete ausgespannt ist, der seine natürliche Lage von Nord nach Süd hat, und der Magnet plötzlich um seine Mitte mit dem Nordpol nach West gedreht wird, so entsteht im Leiter ein Strom von Nord nach Süd. Dieser Satz folgt aus dem Inductionsgesetze (§. 500); denn damit der Nordpol der Magnetnadel nach West abgestossen würde, müsste über ihr ein Strom von Süd nach Nord weggehen. Ebenso folgt daraus, dass, wenn der Magnet nach Ost gedreht wird, der inducirte Strom von Süd nach Nord gehen muss. Welche Richtung der Strom haben muss, wenn der Leiter unter dem Magnet weggeht, ergibt sich ebenso leicht daraus.

Umgibt man darum das in §. 391 beschriebene Magnetometer mit einem in der Ebene des magnetischen Meridians liegenden Multiplicatordrahte, so muss bei jeder Schwingung, in die man das Magnetometer versetzt, in dem Drahte ein inducirter Strom entstehen. Sind die Enden dieses Drahtes mit andern Multiplicatoren oder Magnetometern in Verbindung, so müssen diese durch den inducirten Strom ebenfalls, und zwar, bei der unmessbaren Geschwindigkeit der Elektrizität, augenblicklich in Schwingungen gerathen, oder im Fall sie schon in Bewegung waren, müssen ihre Schwingungen einen ganz andern Charakter erhalten. Nach den in Göttingen von *Gauss* angestellten Versuchen, wo verschiedene Magnetometer durch einen Draht von 15,000 Fuss Länge mit einander verbunden waren, fällt die Mitte der Rückschwingung des grossen Magnetometers an dem einen Ende, mit dem Anfang der übrigen, der Zeit nach, zusammen; daher ist die Periode dieser inducirten Schwingungen immer gleich.

Wurde an das eine Ende dieser langen Kette ein Schraubendraht befestigt und über einen starken Magnetstab geschoben, so geriethen alle Magnetnadeln und Magnetometer in derselben augenblicklich in Bewegung. Die Gesammtwirkung auf die Bewegung der Magnetnadel in den Multiplicatoren ist von der Schnelligkeit der Bewegung des Schraubendrahtes fast ganz unabhängig, und wenn darum das Auf- und Abschieben des Schraubendrahtes über den Magnetstab in regelmässigen Zeiträumen erfolgt, so kann man die Magnetnadel in so grosse Bewegung versetzen, als man will.

Die Schwingungen einer Magnetnadel, welche mit einem geschlossenen Drahtgewinde umgeben ist, nehmen an Grösse viel schneller ab, als wenn das Drahtgewinde offen ist, weil im ersten Fall der durch die Bewegung der Nadel inducirte Strom eine Ablenkung derselben in entgegengesetzter Richtung zu bewirken sucht.

Desshalb kommt auch nach *Arago* eine Magnetnadel schon schneller zur Ruhe, wenn sie über einer horizontalen Metallplatte oder selbst über Wasser, Holz u. s. w. oscillirt. An dem Magnetometer umgibt man darum auch die Magnetnadel mit einem kupfernen Gehäuse, damit die Schwingungen ruhiger werden.

§. 535.

Wenn man einen geradlinigten Kupferstreifen *ab*, Fig. 675, zwischen den Enden *c* und *d* eines leitenden Drahtes und dem Nordpol *n* eines dazu senkrechten Magnets, in der Richtung von *a* nach *b* fortschiebt, und der Nordpol *n* befindet sich über dem Kupferstreifen, so erregt der letztere in dem Drahte einen Strom, welcher von *n* durch *d*, *f* und *c* nach *n* geht; denn betrachtet man die Wirkung der Ströme des Magnets, deren Richtung durch die Pfeile um *n* angedeutet ist, auf irgend ein Element *pq* des Kupferstreifens *ab*, so muss in diesem, weil es sich nähert, und weil *vm* stärker wirkt als *xy*, ein Strom von *p* nach *q* entstehen. Kommt aber *pq* in der Lage *dc* an, so entfernt es sich von dem Strome *vm* des Magnets, und nähert sich dem Strome *xy*, also muss in ihm ein verstärkter Strom in der Richtung von *c* nach *d* entstehen. Kommt *pq* in der Lage *rs* an, so entfernt es sich von *xy*; also geht der Strom in ihm wieder von *r* nach *s*. Wenn entweder die Richtung der Bewegung von *ab* umgekehrt ist, oder der Nordpol diesen Kupferstreifen von unten berührt, so muss der in *dcf* entstehende Strom dem vorigen entgegengesetzt sein.

Fig. 675.

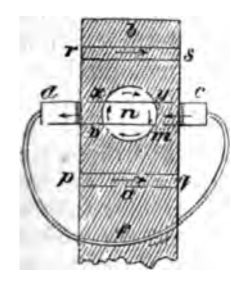
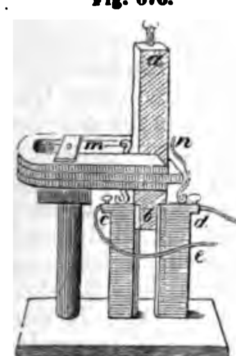


Fig. 676.

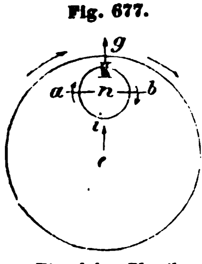


Faraday stellte diesen Versuch an, indem er die Ränder des Kupferstreifens amalgamirte, und an den leitenden Draht *dfc* die gleichfalls amalgamirten kupfernen Cylinder *c* und *d* löthete. Die verschiedenen Abänderungen des Versuches, indem man den Leiter *c* oder *d* an verschiedenen Stellen anbringt, die nicht gerade gegenüber liegen, oder auch, indem man *c* z. B. in *a* befestigt, während man den Kupferstreifen an *d* fortführt, stimmen alle mit der obigen Erklärung überein.

Sehr leicht gelingt der Versuch, wenn man, wie in Fig. 676, einen Kupferstreifen *ab* zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets fortschiebt, während die Federn *m* und *n* auf die gegenüberliegenden Seiten des Streifens *ab* drücken und mit dem Galvanometer durch die Drähte *ce* und *d* in Verbindung stehen.

§. 536.

Fig. 677.



Dreht man eine horizontale Scheibe von Kupfer, Fig. 677, um ihre Achse, in der Richtung der Zeiger einer Uhr, deren Zifferblatt oben ist, und hält man über dieselbe den Nordpol *n* eines Magnets, so entsteht durch magnetische Induction ein Strom, der von der Mitte zum Umfange geht. Dieser Satz ist eine Folge des vorhergehenden §., indem man sich nur vorstellen darf, *ab*, Fig. 677, entspreche dem Theile der Scheibe in Fig. 675, der auch mit *ab*

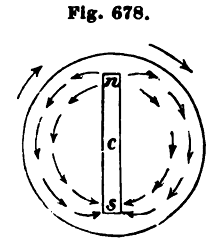
bezeichnet ist. Wird der Südpol unter der Scheibe, dem Nordpol über ihr gegenübergestellt, so wirkt er nach derselben Richtung; der elektrische Strom wird also verstärkt; wird aber die Drehung der Scheibe umgekehrt, so geht der Strom vom Rande nach der Mitte; eben so ist es, wenn man die Pole verwechselt u. s. w.

Bei der Drehung nach der oben angegebenen Richtung nähert sich der Strom *cg* dem Strome des Magnets auf der rechten Seite bei *b* und stösst ihn ab, zugleich entfernt er sich von dem links bei *a*, welchen er anzieht. Weil aber die Scheibe sich dreht und darum *cg* mit ihr gedreht wird, so ist die Abstossung stärker als die Anziehung. Daraus erklärt sich die von *Arago* gemachte Entdeckung, dass wenn man einen langen und starken Magnet an dem einen Ende eines Waagbalkens lothrecht über einer sich horizontal drehenden Kupferscheibe aufhängt und durch Gewichte mit dem andern Ende des Waagbalkens in's Gleichgewicht bringt, der Magnet in die Höhe steigt. Wirkt *ci* stärker abstossend auf den Magnet als *kg*, weil *n* nahe am Rande liegt, so erfolgt überdiess eine Bewegung des Pols nach dem Rande; und wirkt *kg* stärker als *ci*, weil *n* dem Mittelpunkte näher ist, so bewegt sich der Nordpol nach der Mitte. In einem gewissen Punkte muss *ci* gleichstark mit *kg* wirken. Stellt man darum, wie *Arago* fand, eine Inclinationsnadel lothrecht über dem Mittelpunkte der Scheibe auf, so erleidet sie keine Ablenkung; ebenso über einem andern Punkt, der näher am Rande als an der Mitte liegt; aber ausserhalb dieses Punktes wird die Nadel gegen den Rand und innerhalb desselben gegen die Mitte getrieben.

§. 537.

Wenn Fig. 678 eine Magnetnadel *ns* über einer horizontalen Kupferscheibe und parallel mit ihr aufgehängt ist, und die Kupferscheibe sich dreht, nach der Richtung der Zeiger einer Uhr, deren Zifferblatt oben ist, so entsteht in der Scheibe, gerade unter der Magnetnadel, ein Strom, welcher die Richtung einer Linie vom Südpol zum Nordpol der Nadel hat. Denn nach dem vorigen §. entsteht unter dem Nordpol ein Strom, von der Mitte nach dem Rande, und unter dem Südpol ein Strom, vom Rande nach der Mitte. Da nun nach dem *Oersted*'schen Gesetze in diesem Falle der Nordpol in derselben Richtung von dem Strome abgestossen werden muss, in welcher die Scheibe sich dreht, so folgt, dass die Magnetnadel nach der Richtung der Scheibe sich zu drehen anfängt. Die Erscheinung hat *Arago* lange vor der Entdeckung des Inductions-Gesetzes mit den beiden, im vorigen §. angeführten Erscheinungen zuerst beobachtet. Für eine Drehung nach entgegengesetzter Richtung ist die Erklärung eben so einfach. In der Scheibe selbst wird ein System von Strömen durch die erste Drehung inducirt, wie die kleinen Pfeile in der Figur angeben.

Fig. 678.



Herschel und *Babbage* kehrten den Versuch *Arago's* um und brachten durch schnelle Drehung eines hufeisenförmigen Magnets, der sich unter einer freihängenden Kupferscheibe befand, diese zum Rotiren. Die Induction erfolgte dabei auch durch Zwischenwände von verschiedenen Körpern. Wenn die Kupferscheibe Ein-

schnitte hat, so kann der Strom sich nicht so leicht ausbilden, weil er in der kreisförmigen Richtung nicht fortgehen kann.

§. 538.

Zu allen durch die Einwirkung der Elektrizität auf den Magnetismus hervorgebrachten Erscheinungen kann man Gegenversuche anstellen, welche den Einfluss des Magnetismus auf die Elektrizität nach denselben Gesetzen darthun. *Faraday* hat desshalb auch den in §. 519 beschriebenen Versuch umgekehrt und nachgewiesen, dass durch die Einwirkung eines um seine Achse sich drehenden Magnets, elektrische Ströme entstehen, indem er ein Ende des Magnets und eine Stelle zwischen seinen Polen mit den Drähten des Galvanometers während der Drehung in Verbindung brachte. Dessgleichen hat *Plücker* durch Versuche die Reciprocität zwischen den elektromagnetischen und magnetelektrischen Erscheinungen vollständig nachgewiesen.

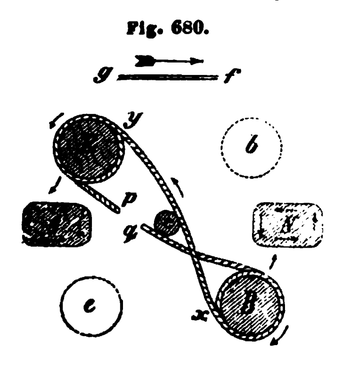
W. Weber glaubt, dass man auch diese Erscheinung nach der *Ampère*'schen Theorie aus dem im §. 519 angeführten Grunde nicht genügend erklären könne, sondern räumlich-geschiedene magnetische Flüssigkeiten denken müsse. Die Ströme würden alsdann in diesem Fall nur durch *einen* Pol (unipolare Induction) erzeugt, indem die Wirkungen des andern sich aufheben. Indem man aber berücksichtigt, dass wenn durch einen Theil des Magnets, Fig. 679, wo N der Nordpol ist, in der Richtung von c nach a ein Strom geleitet wird, der von a durch den Leiter b nach c geht, und dass dadurch nach §. 518 eine Drehung des Magnets nach einer Richtung erfolgt, die den *Ampère*'schen Strömen entgegengesetzt ist, so muss nach dem Inductions-Gesetz, §. 500, eine Drehung des Magnets im Sinne der *Ampère*'schen Ströme, in dem Leiter b einen Strom in der Richtung abc hervorbringen.

Fig. 679.

§. 539.

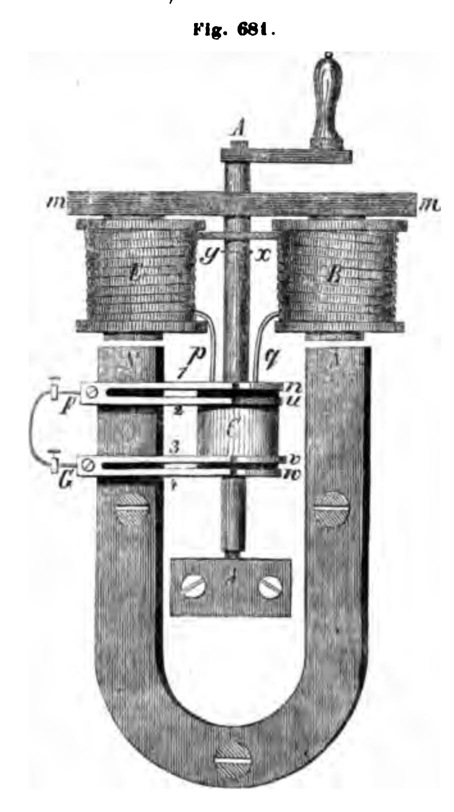
Nach der Entdeckung der magnet-elektrischen Induction bemühten sich mehrere Physiker, durch einen Magnet eine ununterbrochene Reihe von Funken hervorzubringen. *Pixii* Sohn und *Ritchie* erreichten fast zugleich diese Absicht. Später hat *Saxton*, nach *Faraday's* Anleitung, eine solche Elektrisirmaschine construirt und *von Ettingshausen* Versuche gemacht, durch welche die ersten kräftig wirkenden Apparate dieser Art zu Stande kamen. Durch *Stöhrer* haben sie den höchsten Grad der Vollkommenheit erreicht. Die Wirkung aller dieser Apparate kann man sich auf folgende Art erklären: Stellt Fig. 680 N den Nordpol, und S den Südpol eines festliegenden Hufeisen-Magnets vor, und sind B und E die Enden eines Hufeisens von weichem Eisen, welche umgekehrt wie die Zeiger einer Uhr sich um die Achse c über N und S so nahe als möglich herumdrehen, so wird E bei der Annäherung an S ein Nordpol und B zugleich ein Südpol. Es entsteht also durch Induction in dem um E gewundenen Draht ein Strom, welcher

Fig. 680.



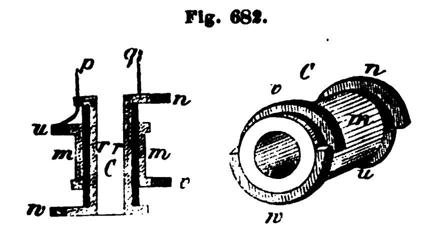
den hypothetischen Strömen um S entgegengesetzt ist, und in dem um B gewundenen Draht ein Strom, welcher denen um N entgegengesetzt ist. Besteht der um E und B gewundene Draht aus *einem* Stück, und ist xy ein Theil desselben, während p und q die Enden sind, welche auf irgend eine Art in Verbindung gesetzt werden können, so geht jetzt der Strom von B nach E durch xy, und von p nach q. Entfernt sich E von S, indem es in der Richtung e ankommt, so entsteht ein dem vorigen entgegengesetzter Strom. Dann entfernt sich aber auch B von N, indem es in b ankommt, und es muss also um B gleichfalls ein dem vorigen entgegengesetzter Strom entstehen. Der um den Draht um E und B entstehende Strom geht also jetzt von E durch yx nach B, und von q nach p. Die Entfernung des E von S bringt in ihm denselben Strom hervor, wie die Annäherung an N, indem alsdann E die Stelle von B einnimmt. So lange also E sich in dem untern Halbkreis befindet, geht der Strom von E durch den Querdraht xy nach B, und so lange sich E in dem obern Halbkreise befindet und B in dem untern, geht der Strom durch den Querdraht xy von B nach E. Um also einen ununterbrochenen Strom bald nach einer, bald nach der entgegengesetzten Richtung zu erhalten, muss man nur rasch umdrehen, nachdem man zwischen p und q eine Verbindung hergestellt hat. Um aber einen Strom, der nur nach *einer* Richtung geht, zu erhalten, muss man zwischen p und q eine bewegliche Vorrichtung mit einer Leitung fg einschalten, welche bewirkt, dass, wenn der Strom von p nach q gehen muss, p mit g und q mit f in Verbindung ist; während sie aber auch bewirkt, dass, wenn der Strom von q nach p gehen muss, q mit g und p mit f in leitender Verbindung ist. Dadurch erhält man also einen elektrischen Strom, der in der Leitung gf immer dieselbe Richtung hat. Diess geschieht bei der in Fig. 681 abgebildeten einfachen magnet-elektrischen Rotationsmaschine *Stöhrer's* mit Hilfe des *Commutators* C auf folgende Art: Die Achse AA lässt sich mit Hilfe der Kurbel zwischen den Schenkeln S und N eines aus mehreren Lamellen zusammengesetzten Hufeisen-Magnets drehen. Senkrecht zur Kurbel ist eine Eisenplatte mm befestigt. In letzterer sind zwei Kerne von weichem Eisen B und E festgeschraubt, und diese sind von den Inductions-Rollen aus übersponnenem Kupferdraht umschlossen. Durch den Draht xy sind die Drähte beider Rollen an einem Ende verbunden; p und q sind

Fig. 681.



die beiden andern Enden, und diese führen zu dem Commutator *C*, welcher in Fig. 682 im Querschnitt und in perspectivischer Ansicht besonders abgebildet ist. Dieser Commutator besteht aus einem Messingrohr *r r*, welches auf die Achse *A A* gesteckt wird, und einem zweiten Messingrohr *m m*, welches das erste in der Mitte umschliesst, von ihm aber durch einen Cylinder von Buchs isolirt ist. Auf das erste Messingrohr *r r* sind zwei halbkreisförmige Stahlringe *n* und *w* so aufgelöthet, dass sie sich genau gegenüberliegen, und die Enden sich etwas überragen. In gleicher Art sind die Stahlringe *u* und *v* auf das Messingrohr *m m* befestigt.

Fig. 682.



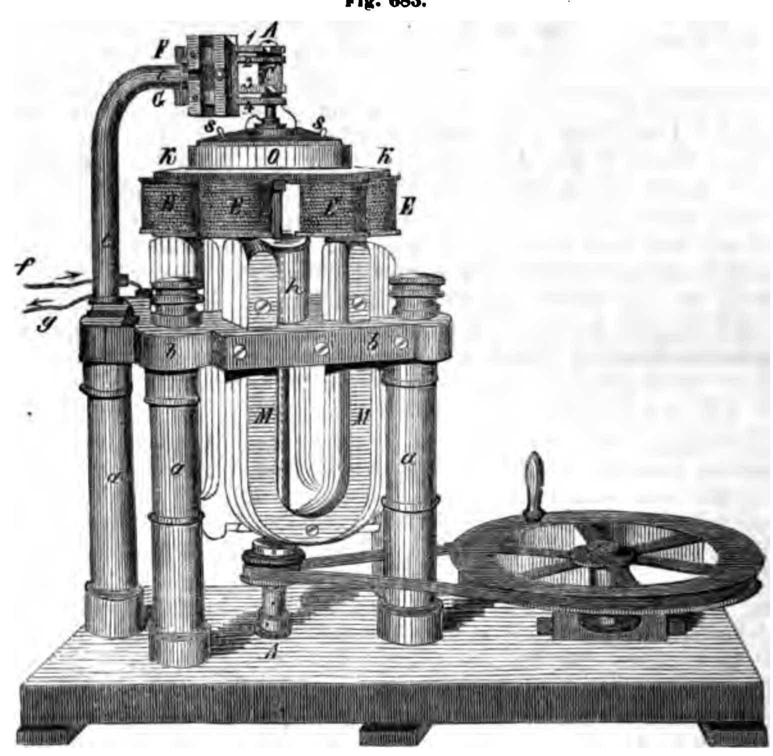
Der Draht *q* ist mit der Achse oder mit dem innern Rohr *rr* und der Draht *p* mit dem äussern Rohr *mm* leitend verbunden, und von *rr* durch ein Elfenbeinröhrchen isolirt. Die Stahlringe *n* und *w* sind also unter sich in leitender Verbindung, und ebenso die Stahlringe *u* und *v*. Auf dem Schenkel *S*, Fig. 681, sind auf Unterlagen von Holz die gabelförmigen Stahlfedern *F* und *G* befestigt. Ihre Zinken 1, 2, 3, 4 berühren in der Mitte zwischen den Schenkeln des Magnets stets zwei von den Stahlringen des Commutators *C*. Ihre Enden *F* und *G* sind mit Klemmschrauben versehen, um einen Schliessungsdraht daran zu befestigen, oder Drähte von da in einen Wasserzersetzungs-Apparat zu leiten und dergleichen mehr. Der Commutator *C* ist so auf der Achse *A A* befestigt, dass in der Stellung, welche die Kerne *B* und *E* in der Zeichnung haben, der Zinken 1 den Stahlring *n* gerade verlässt, wenn die Kurbel noch ein wenig in der Richtung gedreht wird, dass der Kern *B* sich von *N* und zugleich von dem Auge des Lesers entfernt. In dieser Stellung berührt der Zinken 3 den Stahlring *v*; wird ihn aber, wenn die Kurbel auf die eben angegebene Art gedreht wird, gleichfalls verlassen. Die Zinken 2 und 4 kommen alsdann in Berührung mit den Stahlringen *uw*, und bleiben vermöge des Druckes der Federn so lange damit in Contact, bis die Achse einen halben Umlauf gemacht hat oder *B* über dem Südpol *S* des Magnets steht. Dann aber kommen die Zinken 1 und 3 wieder in Berührung mit den Stahlringen *n* und *v*, während 2 und 4 frei von der Berührung des *u* und *w* werden.

Wenn sich *B* dem Nordpol nähert und von dem Auge des Lesers entfernt, so muss nach dem Obenerklärten ein Strom entstehen, der von *x* nach *y*, also von *p* nach dem äussern Rohr *m*, durch den Stahlring *v* nach dem Zinken 3 und der Schraube *G* geht; von da durch den Schliessungsbogen seinen Lauf nach *F* und durch den Zinken 1 nach dem Stahlring *n* und dem Draht *q* nimmt. Entfernt sich aber *B* von dem Auge und dem Nordpol *N*, so geht der Strom von *y* nach *x* und von *q* nach dem innern Messingrohr *r r*; von diesem durch den Stahlring *w* nach dem Zinken 4, und weil 3 nun ausser Berührung ist, nach *G*, also wieder durch den Schliessungsbogen nach *F*, und durch 2 und *u* nach *p* zurück an die Inductionsrolle *E*. Die Intensität dieses Stromes erreicht ihr Maximum, wenn die durch die Mitte von *E* nach *B* gehende Linie senkrecht zu der Linie von S nach N ist, und wird Null,

wenn diese Linien zusammenfallen. Sie wächst zugleich mit der Schnelligkeit, bis diese grösser wird als die Dauer des Wechsels der Pole, die nicht unendlich klein ist.

Die grössern magnet-elektrischen Maschinen von *Stöhrer* haben eine bedeutende Wirkung, und weil sie wahrscheinlich keine wesentliche Abänderung mehr erfahren werden, ihre Anwendung auch die Stelle der Elektrisirmaschinen und der galvanischen Apparate vertritt, so folgt hier noch eine Beschreibung derselben mit Hilfe der Fig. 683. Dieser Apparat besteht aus drei hufeisenförmigen Magneten *MM*..., jeder aus 6 Lamellen, die zu gleicher Zeit auf 6 Inductionsrollen *EEE*...

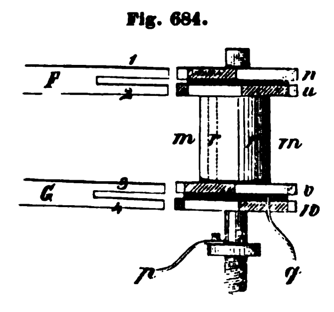

Fig. 683.



wirken, weil mehrere kleine Magnete im Verhältniss ein weit s ärkeres Inductions-Vermögen haben, als ein grosser von gleichem Gewicht. Die vertikal stehenden Magnete sind oben so abgerundet, dass ihre Polflächen 6 gleichgrosse Scheiben, nicht Rechtecke, bilden, deren Mittelpunkte in der Peripherie eines Kreises liegen. Durch die Mitte dieses Kreises geht die eiserne Achse *AA*, an welcher die Inductionsrollen *EE* befestigt sind, Alle drei Magnete sind an der tiefsten Stelle der Krümmung des Hufeisens an ein messingenes Kreuz befestigt, welches sich zwischen den drei starken hölzernen Säulen *aaa* erhöhen und senken lässt, während die Magnete durch das starke Brett *bb* in vertikaler Stellung erhalten werden. Auf dieses Brett ist noch ein Aufsatz *h* von Holz befestigt, durch welchen die Achse *AA* geht. Diese dreht sich unten auf einem Stahlzapfen in einem Lager von Stahl, und oben in einem an den Aufsatz *h* befestigten Lager. In der Höhe *kk* ist auf der Achse *AA* ein starkes Messingkreuz befestigt, auf welches ein starker eiserner Ring *kk* festgeschraubt ist. An die untere Fläche dieses Rings sind die Kerne der Inductions-n so befestigt, dass sie den Polflächen der Magnete alle zugleich gerade gegen-:ehen, wenn es bei einem der Fall ist. Die Inductions-Spiralen von 1 Millim.

dickem übersponnenem Draht sind auf Holzrollen gewunden, welche auf die Eisenkerne gesteckt werden. Die 12 Enden dieser Drähte laufen von unten in die Holzbüchse *O* und können durch Drehung des metallenen Deckels *ss* auf vier Arten unter sich und mit dem Commutator *C* verbunden werden, welcher in Fig. 684 besonders abgebildet ist, und der, wie man sieht, sich von Fig. 682 nur dadurch unterscheidet, dass er statt 4 halbkreisförmiger Stahlringe 12 bogenförmige Stahlringe trägt, deren jeder $^1/_6$ der Peripherie lang ist. Diese vier Abänderungen in der Verbindung der Inductions-Rollen mit *C* sind: 1) Sechs Drahtenden sind mit dem innern Ring *rr* durch *p* und sechs mit dem äussern Ring *mm* durch *q* verbunden. Diese Verbindung gibt die geringste Spannung, weil die sechs Drähte wie einer von derselben Länge wirken von sechsfachem Querschnitt. 2) Je zwei Spiralen sind zu einer verbunden, so dass ihr Draht gleichsam nur *ein Stück* bildet, und dann drei Enden mit *rr* und drei Enden mit *mm* in Berührung. 3) Je drei Spiralen zu einer verbunden, und 4) der Draht von sechs Spiralen zu einem verbunden und das eine Ende mit *rr*, das andere mit *mm* in Contact. Diese Combination liefert die grösste Spannung der Elektrizität, weil der Draht die 6fache Länge hat. Der Commutator *C* wird von den gabelförmigen Federn *F* und *G* ebenso berührt, wie diess oben bei Fig. 681 beschrieben worden ist. Natürlich findet aber bei dieser Vorrichtung bei jeder Umdrehung in den Drähten *p q* ein sechsmaliger Stromwechsel statt, wenn noch eine Verbindung zwischen *F* und *G* hergestellt ist. Diese wird, wenn Glühversuche zu machen sind, so kurz als möglich gemacht; für andere Zwecke führt ein Draht in dem Arm *tt*, Fig. 683, welcher die Federn *F* und *G* trägt, von *G* nach *g* herab und ebenso ein anderer von *F* nach *f*. Die Enden *f* und *g* können alsdann mit einem Voltameter oder andern Apparat zu chemischen Zersetzungen verbunden werden, oder mit Handgriffen versehen sein, um physiologische Wirkungen hervorzubringen; kurz zu allen mit Hilfe mächtiger *Volta*'scher Ketten gewöhnlich angestellten Versuchen benutzt werden. Die schnelle Drehung der Inductionsrollen wird durch die Kurbel an dem Schwungrad und durch den Laufriemen bewirkt.

Fig. 684.



Mit dieser Maschine kann man folgende auffallende Versuche anstellen: Bei Erzeugung eines Funkens hört man einen knallenden Ton. Die von den Stahlfedern des Commutators ausfahrenden Eisentheilchen verbrennen so, dass 8 bis 10 Zoll lange Feuerstrahlen entstehen, an denen sich Weingeist augenblicklich entzündet. Ein Platindraht von 12 Millim. Länge und $^1/_4$ Millim. Dicke kommt in die höchste Weissglühhitze. In zwei Minuten erhält man einen Kub.-Zoll Knallgas. Kohle, besonders Lindenkohle, glüht so hell, wenn man den Strom durch die sich berührenden Spitzen leitet, dass ein grosses Zimmer dadurch vollständig erleuchtet wird. Die physiologischen Wirkungen der stärksten Art werden mit Leichtigkeit hervorgebracht und sind beim langsamen Drehen schon beinahe unerträglich, wenn der Strom nicht geschwächt wird. Elektromagnete erhalten dadurch eine bedeutende Anziehungskraft. Für die Anwendung beim Sprengen von Minen ist die *Statham*sche Lunte von Nutzen. Ein mit geschwefelter Gutta percha überzogener Kupferdraht, der als Leiter dient, wird da, wo er zünden soll, zur Hälfte von Gutta percha befreit. Man nimmt an dieser Stelle etwa $^1/_4$ Zoll vom Kupferdraht weg und streut Pulver darauf. So wie der Intensitätsstrom durchgeleitet wird, entzündet sich dieses, weil die Sulfurat-Schichte in lebhaftes Glühen versetzt wird. Noch besser ist nach *Böttger* ein Gemisch aus gleichen Gewichtstheilen fein gepulvertem Schwefelantimon und chlorsaurem Kali, welches sich bei dem kleinsten Funken entzündet, selbst bei Anwendung einer kleinen Kleistischen Flasche.

Aus dem Obigen sieht man, dass durch mechanische Arbeit, das Drehen einer magnet-elektrischen Maschine, ein elektrischer Strom erzeugt wird, der alle Arten von Arbeit zu verrichten im Stande ist; Licht, Wärme, chemische Zersetzung, physiologische Wirkung hervorzubringen vermag. Obgleich nun die technische Anwendung dieses Apparates beschränkt ist, so liegt doch in demselben der Beweis vor, dass es vielleicht einst möglich sein wird, manche unbenützte Wasserkraft zu chemischen und andern Zwecken zu verwenden. Auch beim Telegraphiren kann der magnet-elektrische Apparat die Stelle der Batterien vertreten, wie Steinheil

Fig. 685.

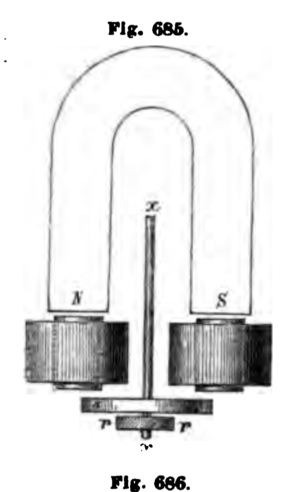
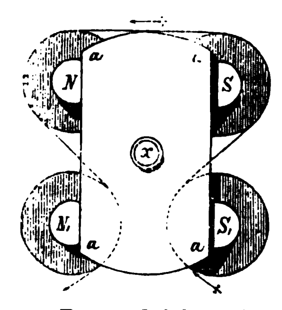


Fig. 686.



Wheatstone und *Siemens* mit Erfolg gezeigt haben. Bei dem Seite 687 beschriebenen Privattelegraph hat *Wheatstone* folgenden magnet-elektrischen Apparat, Fig. 685 im Aufriss, und Fig. 686 im Grundriss, angewandt, in welchen bei einmaliger Umdrehung des Ankers *aa*, Fig. 686, der Strom in dem Inductionsdraht viermal seine Richtung wechselt. *NS*, Figur 685, ist ein aus mehreren Stahlmagneten zusammengesetzter Hufeisenmagnet. Nahe an dem Nordpol *N* sind zwei weiche Eisenkerne *NN,*, Fig. 686, befestigt, ebenso auch an dem Südpol *S*, Fig. 686, zwei Kerne *SS,*, Fig. 686. Um alle vier Kerne ist ein Draht so gewunden, dass er um *S,* rechts, um *S* links, um *N* links und um *N,* rechts herumgeht. Nähert sich der Anker *aa* oben dem *S*, so wird der Magnetismus von *S* verstärkt, es entsteht in dem ihn umgebenden Draht ein Strom, der oben in der Richtung von rechts nach links geht. Die gleichzeitige Entfernung des Ankers von *N* und *S,*, so wie die Annäherung an *N,*, bringen in dem Draht Ströme nach derselben Richtung hervor. Bewegt sich aber der Anker von *S* nach *S,*, so ist es umgekehrt. Ebenso wechselt der Strom wieder auf dem Weg des Ankerstücks *aa* von *S,* nach *N,* und von *N,* nach *N*. Bei jeder Viertelsumdrehung rückt also der Zeiger des Telegraphen um einen Buchstaben weiter. Die Schnelligkeit der Umdrehungen wird durch ein Rad, welches in die Zähne des Triebes *rr* auf der Achse *xx* des Ankers *aa* eingreift, vergrössert. Man kann 120 Umdrehungen, also 480 Stromwechsel, in der Minute machen, ohne Nachtheil für die Mittheilung der Zeichen.

§. 540.

Da es leichter ist, einen starken Elektromagnet als einen kräftigen Stahlmagnet zu erhalten, so hat *Pohl* statt der oben beschriebenen Maschine eine andere vorgeschlagen, welche auf denselben Principien beruht, bei der aber der Hufeisenmagnet durch einen Elektromagnet vertreten wird, dessen Thätigkeit man mittelst einer einfachen galvanischen Kette unterhält.

Man kann aber auch den Fig. 656, S. 681, abgebildeten Apparat von *Stöhrer* benutzen, um zu zeigen, dass durch den Elektromagnet elektrische Ströme inducirt werden: denn setzt man die Klemmschraube 1 mit dem positiven Pol einer Kette, und *z* mit dem negativen Pol derselben in Verbindung, entfernt hierauf die Drähte zwischen 2 und 3 und zwischen 7 und 9, während man 2 mit 9 durch einen Draht verbindet, so geht der Strom bloss durch den Elektromagnet. Indem dieser nun mittelst der Kurbel durch Rad und Trieb gedreht wird, muss er in den Drahtrollen I und II einen Strom induciren, wenn diese geschlossen sind. Sind sie aber nicht geschlossen, so kann auch kein Strom entstehen. Befestigt man an 7 und 8 zwei Drähte, welche durch einen Wasserzersetzungs-Apparat führen, oder mit Handgriffen versehen sind, um den Strom durch den Körper zu leiten u. s. w., so kann man das Entstehen des inducirten Stromes leicht bemerken.

Nach §. 524 ist bei Annäherung des Nordpols *K* an die Inductionsbei *n* der inducirte Strom demjenigen, welcher das *K* umkreist,

entgegengesetzt, und stösst also K ab. Eben so inducirt K überall, wo es hinkommt, in der Rolle einen entgegengesetzten Strom, welcher die Drehung erschwert. Hängt man daher an die Schnur, welche um die Welle des Rades geschlungen ist, ein Gewicht, so wird ein Theil seines Druckes auf die Ueberwindung des Widerstandes, welchen der inducirte Strom leistet, verwendet, und es sinkt darum nicht so schnell, als es sinken würde, wenn kein Strom in den Rollen I und II inducirt werden könnte. Diess bestätigt sich auch sogleich, wenn man die Verbindung zwischen 7 und 8 wieder aufhebt. Das an der Schnur aufgehängte Gewicht fängt alsbald an, schneller zu sinken, und das Rad, sowie den Elektromagnet, mit beschleunigter Geschwindigkeit zu drehen. Schliesst man aber die Leitung wieder, so hört sogleich die Beschleunigung wieder auf. Man könnte diess auch so ausdrücken: Um den Elektromagnet zu drehen und einen Strom zu induciren, ist Arbeit nöthig. Diese Arbeit wird durch das Sinken des Gewichtes verrichtet. Kann aber kein Strom in der Rolle I und II, weil sie offen ist, entstehen, so wird von der Wirkung des sinkenden Gewichtes auch nichts auf seine Entstehung verwendet, sondern der ganze Betrag derselben hat nur eine schnellere Drehung des Rades und des Elektromagnetes zur Folge.

Im vorhergehenden Falle hat die Arbeit, welche das sinkende Gewicht verrichtete, einen Strom inducirt. *Foucault* hat den Beweis geliefert, dass da, wo die Wirkung eines durch Induction entstandenen Stromes verhindert wird, die Arbeit Wärme hervorbringt. Er brachte zwischen die Pole eines Elektromagnets den Rand einer schnell rotirenden metallenen Scheibe. Durch die Induction bei ihrer Drehung müssen Ströme entstehen, welche nach §. 536 die Scheibe schnell zur Ruhe bringen. Setzt man ihre Drehung dennoch mit Gewalt fort, so erwärmt sich die Scheibe, ohne dass eine Reibung stattfindet, die ihre Erwärmung veranlassen könnte.

§. 541.

Durch Isolirung des magnet-elektrischen Apparates erhält man ausser dem elektrischen Strom auch freie Elektrizität, die jedoch, wie bei der *Volta*'schen Kette, ebenfalls nur eine geringe Spannung hat. *Sinsteden* bewirkte diess auf folgende Art: Er versah das Rad, durch welches die magnet-elektrische Maschine in Bewegung gesetzt wird, mit einem gläsernen Griff, überzog die Magnetpole und die Endflächen des Ankers mit Wachstaffet und Schellack, und isolirte ausserdem die auf den Polwalzen schleifenden Federn durch Glassäulen. Den ganzen Apparat stellte er auf eine isolirende Unterlage, und richtete ihn so ein, dass der Strom stets nach *einer* Richtung gehen musste. Die Feder, durch welche der positive Strom eines mehrere tausend Fuss langen Inductors austrat, zeigte alsdann bei der Umdrehung des letztern freie positive Elektrizität, und die mit dem andern Ende des Inductors verbundene Feder war negativ-elektrisch. Verband er die eine Feder oder den isolirten Ständer, an welchem sie befestigt war, mit der Erde, so stieg die elektrische Spannung an der andern Feder. Dabei wurde auch der Stahlmagnet elektrisch. Die Spannungserscheinungen zeigten sich jedesmal dann am stärksten, wenn unmittelbar vorher eine Unterbrechung

der Schliessung stattgefunden hatte; weil dabei der inducirte Strom durch den Extrastrom verstärkt wird.

I. Erregung elektrischer Ströme durch Elektromagnete.

§. 542.

So wie das Entfernen eines Magnets von dem ihn umgebenden Schraubendraht nach §. 532 das Entstehen eines Stromes zur Folge hat, der mit den hypothetischen Strömen des Magnets gleiche Richtung hat, so bewirkt auch ein Elektromagnet in dem Augenblick, in welchem er aufhört magnetisch zu sein, in dem ihn umgebenden Schraubendraht das Entstehen eines inducirten Stromes von gleicher Richtung. Wenn daher der in §. 483 angeführte Inductionsversuch dahin abgeändert wird, dass man in den Cylinder *bb*, Fig. 588, einen weichen Eisencylinder steckt oder dass man um einen hohlen Cylinder von Pappdeckel zwei übersponnene Kupferdrähte windet, von denen der eine etwa 90 Fuss, der andere 900 Fuss lang ist, und den ersten zur Durchleitung des inducirenden Stromes gebraucht, und in den ersten Cylinder ein weiches Eisen steckt, so wird der inducirte Strom sehr verstärkt. Das Aufhören des Magnetismus verstärkt nämlich den inducirten Strom, indem das Eisen in demselben Draht einen Strom nach gleicher Richtung erzeugt. Durch einen Bündel aus Eisendraht wird die Wirkung noch weit mehr verstärkt, besonders wenn die einzelnen Drähte gehörig von einander isolirt sind. Dazu hat *G. Magnus* auf folgende Weise die Erklärung gefunden: Er umgab das Drahtbündel mit einem dünnen Cylinder von Eisenblech, und weil nun der aufhörende Magnetismus in dem Blechcylinder einen Strom erzeugte, so konnte er nach §. 483 nicht so stark auf den Schraubendraht wirken, die stärkern Zuckungen beim Oeffnen der Kette mussten also wegfallen. Wenn dagegen der Blechcylinder aufgeschlitzt wurde, so trat die verstärkte Wirkung wieder hervor, welches ebenfalls mit dem oben angeführten Inductionsgesetze übereinstimmt. Durch den in dem geschlossenen Blechcylinder inducirten Strom entsteht aber auch neuer Magnetismus, welcher die inducirende Wirkung des verschwindenden Magnetismus vermindert. Ein massiver Eisen-Cylinder verhält sich aber wie ein mit einem geschlossenen Blech-Cylinder umgebenes Drahtbündel, weil in einem Querschnitt des erstern ein inducirter Strom entstehen kann. In dem Drahtbündel ohne umgebenden geschlossenen Blechcylinder kann sich aber kein solcher Strom bilden; er muss also in dem Leitungsdraht selbst entstehen, und darum die Wirkung des andern Stromes verstärken. Nach *Dove* schwächen Metallcylinder die Wirkung der von ihnen eingeschlossenen Drahtbündel um so mehr, je besser sie leiten, und vermindern nicht die Menge der in Bewegung gesetzten Elektrizität, sondern sie verlangsamen nur ihre Geschwindigkeit. Die Wirkung dieses Stromes ist auffallend gross, und kann zur Hervorbringung aller Erscheinungen des gewöhnlichen galvanischen Stromes angewandt werden. Die physiologischen Wirkungen werden durch Anwendung eines Blitzrades, wie in §. 450, oder einer Feile, wie in §. 483, sehr verstärkt, und sind schon merklich, wenn als Kette

eine kleine Kupfermünze und ein Zinkplättchen von gleicher Grösse mit einem feuchten Zwischenleiter angewandt werden.

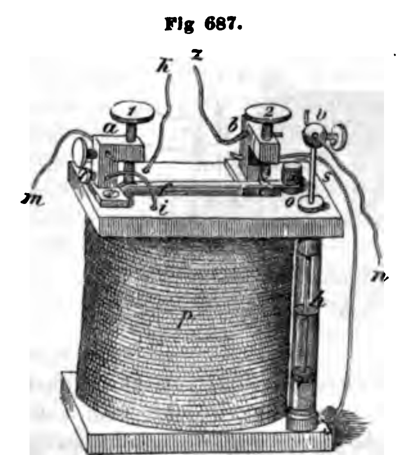
Der in einer Spirale durch die Entladung einer Leidner Flasche erzeugte elektrische Nebenstrom ist gleichfalls dem Einfluss der hineingelegten Körper unterworfen. *Dove* hat diess durch ein Instrument, welches die Differenz zweier Nebenströme angibt, und welches er daher *Differential-Inductor* nennt, gefunden. Der Nebenstrom wird geschwächt durch hineingelegte massive Metallstücke, und verstärkt durch freiliegende Bündel von gefirnissten Drähten, nicht nur aus Eisen, sondern auch aus Messing, Kupfer, Zinn, Antimon, und selbst bei Quecksilber in Thermometer-Röhren. Die Erklärung, die er von diesen Erscheinungen gibt, ist folgende: Der primäre elektrische Strom erzeugt im Moment seines Beginnens und in dem seines Aufhörens entgegengesetzte Nebenströme. Ausserdem entstehen in der massiven Metallmasse elektrische Ströme. Hatte nun der Magnetismus Zeit, sich zu entwickeln, wie bei der Entladung der *Volta*'schen Batterie, so überwiegt die Wirkung des durch das Aufhören der Polarität entstehenden Stromes die entgegengesetzte des, beim Aufhören des primären Stromes, erzeugten Nebenstromes. Hatte aber die Polarität, wie beim Entladen der Leidner Flasche, nicht Zeit, sich vollständig zu entwickeln, so überwiegt die hemmende Wirkung des, beim Aufhören des primären Stromes, erzeugten Nebenstromes. Letzterer fällt in der Metallmasse hinweg, wenn diese in Drähte aufgelöst ist, und es tritt nur die Wirkung der, wenn auch noch schwachen magnetischen Polarität hervor. *Dove* vermuthet darum, dass ausser dem Eisen auch die obigen Metalle magnetisch werden, und in Massen nur um desswillen nicht magnetisch erscheinen, weil die mit dem Magnetisiren gleichzeitig erregten Ströme die Wirkung der Polarität verdecken.

§. 543.

Auch der beim Oeffnen der Kette auf die in §. 502 angegebene Art erzeugte Extrastrom wird verstärkt, wenn man in die Drahtrolle ein weiches Eisen, oder noch besser, ein Drahtbündel steckt. Die Ursachen sind dieselben, welche im vorigen Paragraphen angegeben wurden. Um das Oeffnen und Schliessen der Kette in kurzer Zeit mehrmals zu wiederholen, kann man, wie in §. 542, eine Feile oder ein Blitzrad anwenden. Noch zweckmässiger ist der von *Neeff* angegebene Apparat, welcher mit einigen zweckmässigen Abänderungen in Fig. 687 abgebildet ist.

Um einen ovalen Cylinder von Eisenblech ist die Inductions-Rolle *P* gewunden, die aus 800 bis 1000 Windungen eines nur $^3/_4$ Millim. dicken, mit Seide übersponnenen Drahtes besteht. Dieser Cylinder ist aufgeschlitzt (vgl. §. 542) und enthält in vertikaler Stellung 200 bis 300 gefirnisste Eisendrähte von 1 Millim. Dicke, deren obere Enden einen eisernen Anker berühren, der unter dem obern Brettchen bei *o* sich in einen eisernen Schraubenkopf endigt. Das eine Ende des Drahtes der Inductions-Rolle ist *k* und wird mit dem positiven Pol einer einfachen *Grove*'schen oder andern constanten Kette in Verbindung gesetzt, das andere Ende tritt bei *i* heraus und geht nach dem Metallstück *a*. Die beiden Brettchen, welche oben und unten die Inductions-Rolle einschliessen, sind durch Schrauben an den eisernen Cylinder befestigt. *b* ist ein dem *a* gleiches Metallstück mit Klemmschrauben. *ss* ist ein Draht, welcher zu einem an dem Boden des Glasröhrchens *h* befestigten Metallplättchen führt. Diesem steht ein anderes Metallplättchen *r* gegenüber, welches durch Hinaufschieben des Drahtes *rv* beliebig

Fig 687.



von ihm entfernt werden kann. Das Glasröhrchen *h* ist mit Wasser oder verdünnter Schwefelsäure gefüllt. An dem Metallstück *a* ist eine kupferne Feder *fe* befestigt, welche durch die Schraube 1 stärker oder schwächer herabgedrückt wird, bis das an ihr befestigte eiserne Cylinderchen *x* dem Schraubenkopf *o* sehr nahe steht. Bei *e* ist ein Platinblech auf diese Feder gelöthet. Ein feiner Platindraht kann durch die Schraube 2 damit in Berührung gebracht werden. Verbindet man nun *k* mit dem positiven und den Draht *z* mit dem negativen Pol, und schliesst man die Drähte *m* und *n* durch den Körper, so geht der primäre Strom von *k* um die Spirale tritt bei *i* heraus, geht nach *a*, von da durch *f* nach *e* und von *e* nach *z* zum negativen Pol. Dadurch wird der Cylinder und Anker ein Magnet, zieht das Scheibchen *x* an, die Feder *fe* geht herab und der Strom wird also bei *e* unterbrochen. Der nun entstehende Gegenstrom geht dann von *a* durch *m* und durch den Körper nach *n* durch den Draht *vr* und durch die Wassersäule nach dem Draht *ss* und von da nach *z*. Er wird also um so mehr geschwächt, je länger die Wassersäule ist, die er durchlaufen muss. Da die Feder *fe*, sobald der Strom unterbrochen ist, wieder hinaufgeht, indem *o* aufhört, ein Magnet zu sein, so stellt sich auch sogleich der Strom wieder her, und die Feder *fe* muss auf's Neue herab. Sie geräth dadurch in Oscillationen, welche das Oeffnen und Schliessen des Stromes sehr oft in 1 Sekunde wiederholen und dadurch die physiologische Wirkung des Gegenstromes verstärken. Bei *a* und *v* sind die Drähte *am* und *vn* eingeklemmt, welche zur Leitung des Extra-Stromes dienen, und daher an den Enden entweder messingene Handgriffe haben oder andere Leiter, die man mit den Stellen des Körpers in Berührung bringt, durch welche der Strom gehen soll.

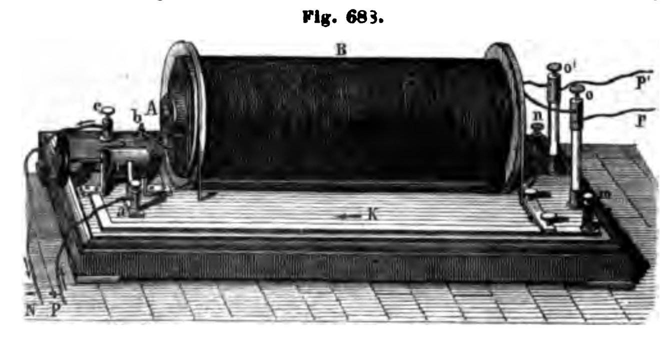
Befestigt man an die Enden *m* und *n* zwei Kupferplatten, und bringt man sie in die entgegengesetzten Enden einer mit Wasser gefüllten Kufe, so geht der Extra-Strom hindurch; legt sich aber ein Mensch hinein, so geht der Strom durch seinen Körper, weil dieser die Elektrizität besser leitet, als Wasser. Will man aber Funken erhalten, so braucht man nur *m* und *n* durch einen kurzen Draht bis auf eine kleine Entfernung zu verbinden.

Um den inducirenden Strom beliebig zu schwächen, kann man auch den Schlittenapparat von *Du Bois-Reymond* anwenden, an welchem sich die Nebenspirale, die auf einen langen und hohlen Cylinder gewunden ist, über die horizontale und gleich lange inducirende Rolle schieben lässt. Will man den Strom möglichst verstärken, so schiebt man die erste Rolle ganz über die zweite; will man ihn schwächen, so schiebt man sie so zurück, dass sie nur einen Theil der Haupt-Rolle bedeckt.

§. 544.

Seit der Entdeckung der inducirten Ströme ist man fortwährend bemüht gewesen, Apparate zu construiren, welche die Elektrizität nicht nur in grosser Menge, wie die *Volta*'sche Kette, sondern auch von beträchtlicher Spannung, wie die Elektrisirmaschine, hervorbringen. *Sin-*

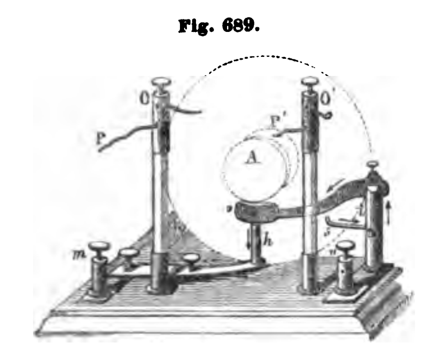
Fig. 683.



steden, *Stöhrer*, *Ruhmkorff* und Andere haben an dem vorhin beschriebenen *Neeff*'schen Apparat viele Verbesserungen angebracht. Zu vielen Versuchen ist der kleine *Ruhmkorff*'sche Apparat, Fig. 688, sehr zweck-

mässig. Die Hauptspirale *B* ist 35 Centim. lang. In ihr befindet sich ein hohler Cylinder von Pappe, in welchem ein Bündel von Eisenstäbchen *A* steckt. Um diesen Cylinder ist auf eine Schicht Wachspapier der 2 Millim. dicke und 4 Meter lange inducirende Draht gewunden. Darüber ist ein Kautschuck-Rohr geschoben und darauf die Inductionsrolle, aus Draht von 1/3 Millim. Dicke in 30 bis 40 Lagen gewickelt. Die Drähte sind alle mit Seide übersponnen, und jede Lage von der andern durch geschmolzenen Gummilack isolirt. Um den Gang dieses Apparates zu verstehen, ist in Fig. 689 seine Rückseite und Fig. 690 der Commutator besonders abgebildet.

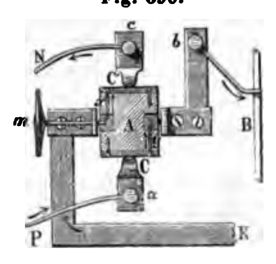
Fig. 689.



Der inducirende Strom einer Kette von 2 bis 4 *Bunsen*'schen Elementen geht durch den Draht *P*, Fig. 688, in die Klemmschraube *a* in den Commutator *C* und von da durch *b* zum inducirenden Draht in der Rolle *B*. Nachdem er denselben durchlaufen, tritt er bei *s*, Fig. 689, wieder heraus, und gelangt durch *i* nach der Richtung der Pfeile in ein um das obere Ende von *i* drehbares Eisenstück *o*, welches der *Hammer* heisst. Er geht dann durch den Ambos *h* nach einem Kupferstreifen *K* in den Draht *N*, Fig. 688, und zum negativen Pol der Kette. Indem nun das aus der Rolle hervorragende Eisenbündel magnetisch wird, zieht es den Hammer an, der Strom wird unterbrochen, das Eisenbündel hört auf magnetisch zu sein und der Hammer fällt wieder herab. Nun beginnt der Strom auf's Neue, und der Hammer geräth so in Oscillationen. Der bei jeder Schliessung entstehende Inductions-Strom ist dem inducirenden wie dem bei der Unterbrechung inducirten entgegengesetzt, der letztere aber bei weitem der stärkere, weil das Aufhören des Magnetismus einen Strom nach gleicher Richtung erzeugt, wie das Aufhören des inducirenden Stromes. Die Wirkung desselben wird aber noch durch einen Condensator verstärkt, welcher den hohlen Sockel ausfüllt. Er besteht aus Schichten von Wachspapier und Stanniol. Auf dem untersten Stanniolblatt liegen zwei etwas grössere Wachspapierblätter, darauf wieder ein Stanniolblatt wie das erste, dann wieder zwei Wachspapierblätter und so fort. 15 bis 20 solche Schichten bilden den Condensator. Das 1te, 3te, 5te .... Stanniolblatt sind unter sich verbunden. Ebenso das 2te, 4te, 6te .... Sie bilden also zusammen eine Leidner Flasche von sehr grosser Oberfläche. Der eine Stanniolbeleg ist mit der Klemmschraube *i*, Fig. 689, der andere mit *m* leitend verbunden. Bei der Unterbrechung des primären Stromes entsteht in dem Schliessungsdraht ein Extrastrom nach gleicher Richtung, der ohne den Condensator, da wo der Hammer auffällt, einen starken Funken erzeugen würde. Der Condensator aber bewirkt, dass die positive Elektrizität desselben von *i* nach dem einen Beleg, die negative von *m* nach dem andern Beleg geht und ihn wie eine Leidner Flasche ladet. Die Entladung des Condensators erfolgt im Augenblick darauf dadurch, dass die positive Elektrizität desselben von *i* durch den indu-

cirenden Draht *s* in umgekehrter Richtung zum positiven Pol der Kette, und durch dieselbe nach dem negativen Pol und von da nach *m* geht. Dieser umgekehrte Strom beschleunigt aber das Aufhören des Magnetismus in dem Eisenbündel, und vermehrt die Spannung des Inductions-Stroms, weil er die Dauer desselben verkürzt. Der Commutator *C*, welcher Fig. 690 im Grundriss abgebildet ist, beruht auf Folgendem:

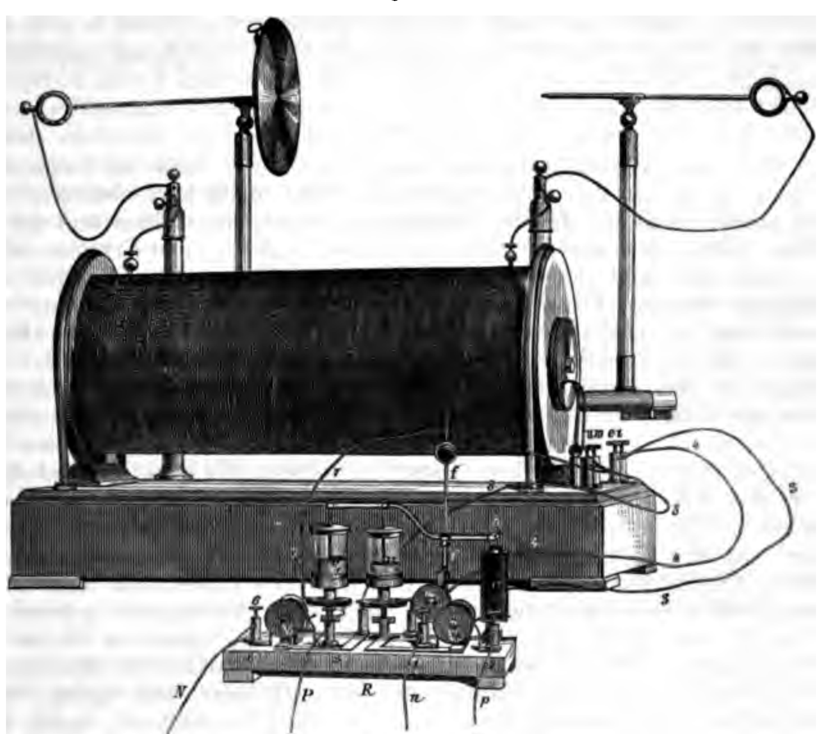
Fig. 690.



Das cylindrische Elfenbein *A* steckt auf zwei von einander isolirten metallenen Zapfen, und lässt sich mittelst des Griffs *m* in den kupfernen Lagern drehen. Auf *A* sind kleine Metallplatten festgeschraubt. Die eine Schraube *x* setzt die obere Platte mit dem einen Zapfen, eine andere *y* setzt die untere Platte mit dem andern Zapfen in Verbindung. Der Strom der von *P* kommt, geht also jetzt durch die Klemmschraube *a* in die Feder *C* und durch *y* nach *b*, und von da durch den inducirenden Draht nach *K*, Fig. 688, sodann in das Lager des linken Zapfens durch *x* nach der Feder und Klemme *c* in den Draht *N* zum negativen Pol. Wird aber der Cylinder *A*, Fig. 690, um 180° gedreht, so geht der Strom von *P* nach *a* und durch *x* nach *K*. Von da zurück durch *b* und *y* nach *C* und *N* zum negativen Pol. Wenn das Elfenbein mit den Federn in Berührung ist, so ist der Strom unterbrochen. Die beiden Drähte *o* und *o'* in Fig. 689 sind die Enden des langen Drahtes, und stehen in leitender Verbindung mit zwei auf dieselben Glassäulen befestigten stärkern Drähten *P* und *P'*, durch welche man den inducirten Strom dahin fortleiten kann, wo man ihn braucht.

An dem grossen Inductions-Apparat von *Ruhmkorff*, Fig. 691, ist statt des Hammers ein anderer Unterbrecher *R* angebracht, weil bei sehr sarken Funken die Berührungsstellen leicht zusammenschmelzen. Dieser besteht 1) aus einem hufeisenförmigen Elektromagnet *r*, welcher durch die Drähte *p* und *n* mit den Polen eines *Bunsen*'schen Elementes verbunden wird. 2) Aus einem Unterbrecher *U*, der aus einem Glascylinder besteht, welcher etwas Platinamalgam enthält, in das eine Platinspitze senkrecht eintauchen kann. Diese Spitze ist an einem horizontalen Metallstäbchen befestigt, welches an die senkrechte Feder *ff* gelöthet ist. An dem andern Ende dieses Metallstäbchens ist über dem Elektromagnet der eiserne Anker *o* befestigt. 3) Die zwei Klemmschrauben *1* und *2* stehen mit einem, dem oben beschriebenen gleichen Commutator *V* in Verbindung. Die Scheibe *m* dient dazu, die Feder *f* und damit den Anker *o* höher oder niederer zu stellen. Den Klemmschrauben *1* und *2* entsprechen zwei andere auf der hintern Seite des Unterbrechers stehende, die durch *3* und *4*, wie die beiden damit verbundenen Drähte *3* und *4*, bezeichnet sein sollen. Letztere endigen in den Klemmschrauben *i* und *e*. 4) Neben *U* ist ein ganz gleicher Unterbrecher *U*, für den inducirenden Strom, der von einer Batterie von wenigstens sechs grossen Bunsen'schen Elementen, durch den Draht *P* an die Klemmschrauben *5* geleitet wird und von da in den Commutator *V'* gelangt. *N* ist der mit *6* verbundene negative Draht. Den Klemmen *5* und *6* entsprechen zwei andere, die *7* und *8*, wie die mit ihnen verbundenen Drähte heissen mögen. Der Draht *7* endigt in der Klemme *w*, der Draht *8* in *u*. Die Klemme *w* ist mit dem einen Ende des inducirenden Drahtes der Hauptrolle, die Klemme *e* mit dem andern verbunden. Die Enden des Inductionsdrahtes sind wie sonst an den Säulen befestigt. Die Klemmschrauben *i* und *u* sind mit dem Condensator verbunden. Sobald nun der Commutator *V* den Strom *p* des einfachen Elements schliesst, geht dieser nach 2, von da nach *U*, durch die Platinspitze in die Feder *ff* herab zu dem einen Drahtende des Elektromagnets *r*, durchläuft die Windungen desselben, macht ihn magnetisch und geht nach der Klemme 1 und von da nach *n* zurück. Der Magnet *r* zieht nun

Fig. 691.



den Anker *o* an; dadurch tritt die Platinspitze aus dem Platin-Amalgam in *U* und der Strom ist unterbrochen. Nach dem Aufhören des Magnetismus in *r* schwingt die Feder *f* zurück, der Strom *p* wird in *U* wieder geschlossen und so die Oscillation der Feder *f*, also das regelmässige Eintauchen des Platindrahtes in *U*, zugleich aber auch in U_1 unterhalten. Wird daher nun auch der zweite Commutator so gedacht, dass der Strom *P* von der grossen Batterie durch *P* nach *5* und von da nach *7* und der Klemmschraube *w* gelangen kann, so geht er von *w* durch den primären Draht nach *e*; von da durch *4* in die Feder *f*, dann in das horizontale Stäbchen durch die zweite Platinspitze in das Quecksilber-Amalgam in U_1 und von da nach der Klemme *6* und durch den Draht *N* zum negativen Pol. In dem Moment, in welchem der Magnet *r* aber den Strom *p* unterbricht, hört auch der Strom *P* auf. Der im primären Draht *P* erzeugte Extrastrom geht positiverseits von *e* nicht mehr nach U_1, sondern nach *i* zum Condensator, und negativerseits von *w* durch den Draht *7* nach *5* an den positiven Pol, durch die Batterie nach *N* und den Draht *8* nach *u* zum Condensator. Gleich darauf findet die Entladung des letztern auf dem Weg *i*, *3*, *4*, *e*, *w*, *7*, *5*, *P*, *N*, *6*, *8*, *u*, also in umgekehrter Richtung statt, wodurch, in Verbindung mit dem Aufhören des primären Stromes, die Spannung des inducirten Stromes, wie oben gezeigt, verstärkt wird.

Die Schwingungen der Feder *f* können durch Höherstellen der daran verschiebbaren Metallkugel verlangsamt werden, wodurch die Schlagweite des Funkens vergrössert wird. Auch das Eintauchen der Platinspitzen kann man durch Auf- oder Abschrauben der Glasgefässe *U* und U_1 und der Feder reguliren. Bei diesem Apparat ist die Hauptrolle 40 bis 50 Centim. lang. Das Eisenbüschel besteht aus 120 Eisenstäbchen, die mit Wachspapier bedeckt sind. Auf die Mitte ist der inducirende 2 Millim. dicke Draht in 2 Lagen so gewunden, dass die Windungen um 6 Cent. Abstand von den Enden abstehen. Darüber ist ein dickes Rohr von Gutta percha geschoben und darüber noch ein $1^1/_2$ Centim. dickes Glasrohr. Hierauf folgt eine Lage von Pappdeckel. Der mit Harz ausgegossene Zwischenraum ist aussen genau

cylindrisch und darauf der Inductionsdraht von $^1/_5$ Millim. Dicke und circa 100000 Meter Länge sorgfältig gewunden, mit Zwischenlagen von Gummilack. An den Enden sind dicke runde Glasplatten senkrecht zur Achse befestigt. Der Condensator besteht aus 50 der oben beschriebenen Schichten, jede von 2000 bis 5000 □ Cent. Oberfläche.

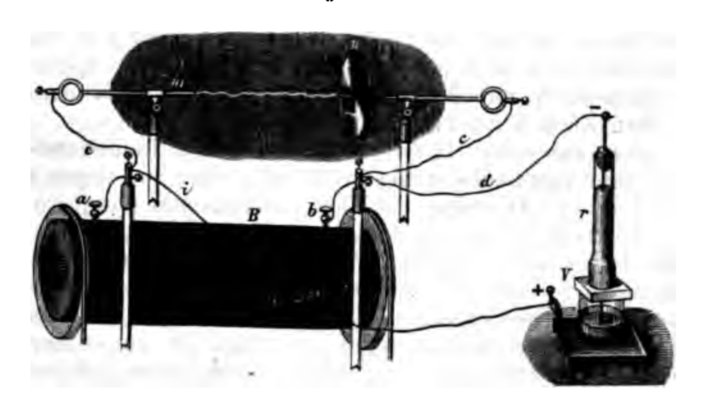
§. 545.

Mit den grossen Inductions-Apparaten kann man in Folge der grossen Spannung des direkten Stromes Wirkungen hervorbringen, die noch stärker sind als die der kräftigsten Elektrisirmaschinen und mächtigsten Volta'schen Ketten; auch zeigen sie zugleich viele Erscheinungen der statischen und der dynamischen Elektrizität. Beim Oeffnen des primären Stromes bringt der *direkte*, und beim Schliessen der viel schwächere *indirekte* Inductions-Strom eine gleiche aber geringe Ablenkung in einem eingeschalteten Galvanometer hervor; dagegen ist die Schlagweite des ersten viel grösser, als die des zweiten. Entfernt man daher die Enden zweier an den Glassäulen befestigten Drähte allmählig von einander, so springt zuerst beim Oeffnen wie beim Schliessen des primären Stromes ein Funken über; bei einem gewissen Abstand hört aber das Ueberspringen beim Schliessen auf und erfolgt nur beim Oeffnen. Man erhält selbst Funken wie von einer Elektrisirmaschine, wenn man den Finger dem positiven Drahtende im Moment des Oeffnens nähert. Stellt man diesem wie in Fig. 691 eine runde, mit dem negativen Drahtende verbundene Scheibe oder einen Hohlspiegel gegenüber, so erhält man Zickzackfunken, die bei grossen Apparaten 25 bis 65 Centim. Länge haben. Der zwischen zwei Metallspitzen überspringende Funke besteht nach *Du Moncel* aus zwei Theilen: Aus einem, dem Funken der Elektrisirmaschine ganz ähnlichen leuchtenden Strich und einer schwächer *leuchtenden Atmosphäre*, die sich durch Blasen mit dem Mund auf die Seite bewegen lässt. Indem *Perrot* der einen Elektrode eine andere *V* förmige gegenüberstellte, fand er, dass bei einem gewissen Abstand durch Blasen bewirkt werden kann, dass die Atmosphäre nur auf den entfernteren Zweig des *V* übergeht und der leuchtende Strich auf den nähern. *Du Moncel* zeigte nun, dass der *atmosphärische Funke oder Lichtstrom* dem Magnet nach den *Ampère*'schen Gesetzen folgt, der andere aber nicht, und dass dieser auch weit geringere Wärmewirkungen hervorbringt. *Rijke* hat diess folgendermassen erklärt: Im ersten Augenblick der Entladueg springt von beiden Enden des Inductions-Drahtes die daselbst angehäufte + und — Elektrizität über, und diess gibt den leuchtenden Strich. Bei der Länge des Drahtes aber müssen die übrigen Elektrizitätstheilchen, die weniger Spannung haben, später nachfolgen und so eine successive Entladung bewirken, die der pag. 545 beschriebenen ganz ähnlich ist und ebenfalls grössere Wärmewirkung hat. Diese Erklärung wird durch den Versuch von *Lissajous* bestätigt, indem er den Inductions-Funken in einem Spiegel betrachtete und diesen zugleich mit der Hand bewegte. Das Bild des leuchtenden Striches wurde dadurch nicht verändert; er dauerte also nur sehr kurze Zeit, das der Atmosphäre aber wurde länger und währte also auch länger.

Die mechanischen Wirkungen des direkten Inductionsstromes sind sehr auffallend. So wird ein Glaskörper, von mehreren Centim. Dicke, *von ihm* durchbohrt, wenn man, wie in Fig. 692, das Glasstück *V*

zwischen die Spitzen des positiven und negativen Drahtes bringt, dass der Funke nicht ausserhalb überspringen kann. Der negative Draht ist bis zum Glasstück *V* hinab in einem Glascylinder *r* von Gummilack umgeben und letzterer auf *V* angekittet. Damit der Funke bei zu grossem Widerstand nicht in der Inductionsrolle selbst überspringt und diese dadurch unbrauchbar macht, sind die Leitungen *c* und *e* angebracht, die das Ueberspringen von *m* nach *n* ermöglichen, wenn der Widerstand in *V* zu gross ist.

Fig. 692.



Durch *das Laden einer Leidner Flasche* werden alle in §. 429 beschriebenen Erscheinungen hervorgebracht. Diese erfolgt, wenn man an die Stelle des Glasdurchbohrungs-Apparates *r* in obiger Figur eine Leidner Flasche bringt und den äussern und innern Beleg mit den Enden *a* und *b* verbindet. Die Drähte *c* und *e* werden ebenso mit dem Auslader verbunden; die Scheibe *n* bleibt aber weg und die Spitzen des Ausladers werden bis auf einen oder mehrere Centimeter, je nach der Grösse des Apparats, einander genähert. Die Flasche ladet sich dann beim Oeffnen mit + aussen, mit — innen; beim Schliessen umgekehrt. Die Entladung erfolgt jedesmal durch den Auslader, wenn die Drähte desselben nicht zu weit abstehen. Diese Entladungen sind sehr heftig und folgen rasch auf einander. Die leuchtende Atmosphäre verschwindet fast oder ganz, während der leuchtende Strich an Glanz zunimmt. Dabei werden viele Metalltheilchen mit fortgerissen und es sind die Funken darum besonders geeignet, die im §. 247 erwähnten Spectra der glühenden Dämpfe von Metallen zu untersuchen, indem man sie vor dem Spalt des Spectralapparates zwischen Drähten von Silber, Gold, Kupfer u. s. w. überspringen lässt.

Flaschen von sehr grosser Oberfläche oder *Batterien* können nicht bei jedem Schliessen oder Oeffnen hinreichend *geladen* werden, um auf diese Art sich auch jedesmal wieder zu entladen. Wenn die Spitzen des Ausladers aber so weit von einander abstehen, dass der indirecte Strom nicht überspringt und in Fig. 692 blos *a* mit *m*, *b* mit dem äussern Beleg der Batterie aber nicht mit *n*, und *n* mit dem innern Beleg verbunden ist, so geht beim Schliessen kein Funke bei *mn* über; beim Oeffnen aber springt die positive Elektrizität von *m* nach *n* auf den innern Beleg,

die negative auf den äussern. Eine Batterie von 20 □ Fuss wird auf diese Art in wenigen Sekunden so stark geladen, als durch eine gute Elektrisirmaschine in vielen Minuten; durch einen der grössten Inductions-Apparate sogar in einem Augenblick. Sie kann alsdann durch einen andern Auslader, wie bei den Versuchen in §. 428, entladen werden.

Die *Wärmewirkungen* des inducirten Stromes sind gleichfalls sehr kräftig. Papier, Hobelspäne, Schiesspulver und Weingeist entzünden sich leicht dadurch. Befestigt man an beide Enden des Inductions-Drahtes einen feinen Eisendraht, so wird er geschmolzen und verbrennt mit lebhaftem Licht. Befestigt man kurze und feine Eisendrähte an jedem Ende und nähert diese bis auf die Schlagweite, so kommt nur der am negativen Drahtende in's Glühen. Auch dieser Inductions-Apparat wird im kleinsten Maassstab mit Nutzen beim Sprengen von Minen durch den *Statham*'schen Zünder (p. 711) angewandt.

Die *physiologischen Wirkungen* eines kleinen Inductions-Apparates sind schon sehr empfindlich; bei grössern werden sie sogar gefährlich.

Die *chemische Wirkung* des Inductionsstromes hängt von dem Abstand der Elektroden, so wie von der Leitungsfähigkeit des dazwischen gebrachten Elektrolyten ab. Ist der Widerstand zu gross, so springen nur Funken über ohne chemische Zersetzung. Bei schwachem Widerstand kann man Wasser, Dämpfe und Gase zerlegen. Ebenso vereinigt der Inductionsfunke z. B. Sauerstoff und Stickstoff zu salpetriger Säure, und bildet Ozon, wenn Sauerstoff durch eine Röhre geleitet wird, in welcher Funken an vielen Stellen überspringen.

Fig. 693.



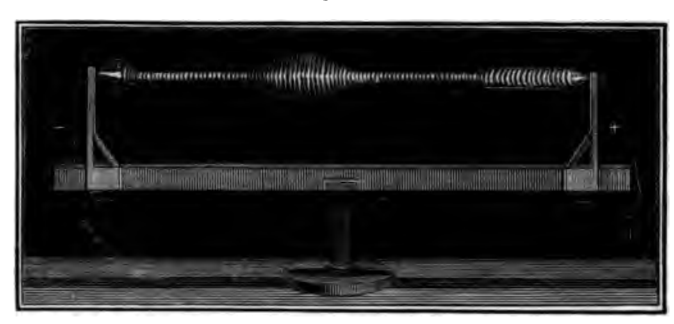
§. 546.

Die Lichtwirkungen des inducirten Stromes in der Luft sind zum Theil schon oben angegeben. Bringt man zwischen die Spitzen des Ausladers ein Stück Kreide, Zucker, Flussspath u. s. w., so entsteht oft ein schönes Funkenspiel. Besonders merkwürdig sind aber die Erscheinungen, die er in einem mit *sehr verdünnter Luft* oder andern Gasen und Dämpfen angefüllten Raume hervorbringt. Setzt man nämlich die obere Fassung der fast luftleeren Glasglocke, Fig. 693, mit dem positiven Pol oder Drahtende des Inductions-Apparates, den Teller oder den untern Knopf mit dem andern in Verbindung, so umhüllt den negativen Knopf violettes Licht mit einzelnen hell leuchtenden weissen Lichtpunkten; der positive Knopf dagegen ist feuerroth, und es erstreckt sich ein gleichfarbiger Lichtstreifen von diesem Pol bis nahe an den andern. Dieser Strei-

fen besteht nach *Grove's* Entdeckung, wie die Fig. 693 zeigt, aus einer Reihe heller Schichten, welche durch dunkle von einander getrennt sind. Diess ist selbst dann der Fall, wenn der Strom nur eine augenblickliche Dauer hat. Befinden sich Dämpfe von Terpentinöl, Schwefelkohlenstoff oder Phosphor in der Glocke, so tritt das Schichtungsphänomen erst recht deutlich hervor. Diese Schichten bewegen sich stets vom positiven zum negativen Pol und scheinen dabei wellenförmig fortzuschreiten und sich zugleich zu drehen. Stellt man in das Vacuum ein Glas von Uranglas, so dass der eine Pol seinen Boden berührt, der andere Draht in dasselbe hinabreicht, so erhält man eine der prachtvollsten Erscheinungen, indem das Licht aus dem Glas überzulaufen scheint. Obiges Licht enthält, wie ich gefunden habe, eine Menge unsichtbarer Strahlen, die durch fluorescirende Substanzen sichtbar gemacht werden. Während z. B. ein Porzellanteller in der Nähe ganz dunkelbraun aussieht, werden Zeichnungen mit Chinin auf Papier noch in grösseren Abständen hell und sichtbar.

In einem von Gasen und Dämpfen vollkommen freien oder absolut leeren Raum findet nach *Plücker* kein Uebergang der Elektrizität statt. Wenn aber die Luft nur einen Quecksilberdruck von 1/2 Millim. ausübt, so leitet sie schon den elektrischen Strom. Um beständig solche höchst verdünnte Gase und Dämpfe zu Versuchen brauchen zu können, hat sie *Geissler* in Röhren und Kugeln von Glas in solchem verdünnten Zustand eingeschlossen und diese zugeschmolzen. An geeigneten Stellen sind vorher Platin- oder Aluminium-Drähte eingesetzt worden, mit denen man wie in Fig. 694, die Enden des Inductionsdrahtes in Verbindung setzt.

Fig. 694.



Mit diesen *Geissler*'schen Röhren haben *Plücker*, *Geissler*, *Grove* u. A. viele neue und wichtige. Beobachtungen gemacht.

Die Schichtung und Farbe des elektrischen Lichtes ist in verdünnten, von einander verschiedenen Gasen und Dämpfen, ebenso verschieden, wie das Farbenspectrum derselben. Auch hängen die Erscheinungen von dem Grad der Verdünnung ab. Ist die Luft oder das Gas nicht hinreichend verdünnt, so finden auch blitzartige Entladungen statt. Bei grösserer Verdünnung erlöscht das Licht allmählig und es verschwinden zuerst die weniger brechbaren Strahlen. Das Verschwinden beginnt bei einem Gasdruck von 0,3 Millim., und bei 0,1 Millim. Druck hört aller Uebergang auf.

Besonders deutlich tritt der Unterschied des Lichts an der nega-

tiven und der positiven Elektrode im höchst verdünnten Stickgas hervor. An der ersten ist es schön violett und an der letzten feuerroth. Der violette Lichtstreifen ist viel kürzer als der rothe, und von ihm durch einen dunkeln Zwischenraum getrennt. Die oben beschriebene Schichtung des Lichtstromes hört nach einiger Zeit in vielen Gasen und Dämpfen auf, weil wahrscheinlich eine Zersetzung stattfindet; auch rührt sie nach *Plücker* nicht von losgerissenen Metalltheilchen her, sondern von der in jeder Röhre zurückbleibenden Materie. Die Schichten entstehen nach *Riess* durch die Entladung; indem vor und hinter jedem Funken die Gasschichte dichter wird. Die dichtere Luft ist aber für continuirliche Entladung leitender als dünne. In ihr geht also die Entladung lichtlos fort und an der dünnern springt sie leuchtend über. Dieser überspringende Funke erzeugt vor und hinter sich wieder dichtere u. s. w. An der *dunkeln* Stelle beim negativen Pol, zwischen dem positiven und negativen Licht, ist nur wenig Elektrizität, und nach *De la Rive* auch eine geringere Temperatur. Betrachtet man diese Schichten in einem mit der Hand bewegten Spiegel, so bilden sie, wie die im §. 545 erwähnte Atmosphäre, lange leuchtende Bänder, und bestehen also während eines Bruchtheils einer Sekunde.

Indem der Funke durch Geissler'sche Röhren geht, die theils aus Uranglas theils aus gewöhnlichem bestehen, oder durch solche geht, die von einer fluorescirenden Flüssigkeit umgeben sind, erhält man prachtvolle Fluorescenz-Erscheinungen. Indem *Geissler* in eine seiner Röhren einige Tropfen Schwefelsäure brachte, fand er, dass nach dem Aufhören des Stromes in der Dunkelheit noch ein *Nachleuchten* der Röhre eintritt, welches besonders schön ist in Röhren, wie Fig. 695, wo die

Fig. 695.



Kugeln aus Uranglas gemacht und an Röhren von gewöhnlichem Glas geschmolzen sind.

§. 547.

So wie der Lichtstrom der galvanischen Batterie (vide §. 447) nach *De la Rive* den *Ampère*'schen Gesetzen unter der Einwirkung eines Magnets unterworfen ist, so haben auch die Versuche von *Plücker* mit dem elektrischen Strom in *Geissler*'schen Röhren zu folgenden Resultaten geführt: *Der positive Lichtstrom*, welcher stets nach dem negativen hingeht, *befolgt unter der Einwirkung eines Magnets ganz dieselben Gesetze, welchen ein elektrischer Leiter, der vollkommen biegsam und beweglich ist, nach den* §§. 512 bis 517 *unterliegt;* ohne dass desshalb zwei parallele Ströme dieser Art sich anziehen oder abstossen, wie die Ströme in §. 488. *Der negative Lichtstrom* dagegen *verhält sich nach Plücker's Entdeckung zwischen den Polen eines Magnets, wie eine paramagnetische*

Materie z. B. Eisenstaub sich, bei vollkommen freier Beweglichkeit, verhalten würde, wenn sie vom negativen Pol ausströmte.

Um nun die beim Auftreten *beider* Lichtströme in einer, mit höchst verdünntem Stickgas erfüllten Röhre oder Kugel, stattfindenden zusammengesetzten Erscheinungen beurtheilen zu können, wollen wir zuerst den *positiven* oder *rothen Lichtstrom* betrachten:

1) Geht dieser in äquatorialer Richtung über den Polen *S* und *N* eines Elektromagnets, Fig. 696, von der Elektrode *A* nach *B*, so wird er, wie das Goldplättchen des *Cumming*'schen Elektroscopes, §. 515, Fig. 639, angezogen, also abwärts gebogen; in entgegengesetzter Richtung aber oder bei der Verwechslung der Pole abgestossen.

Fig. 696.



Fig. 697.



Fig. 698.



2) Geht der positive Strom *A*, wie in Fig. 697, in senkrechter Richtung nach einem Magnet *S* hin, so erleidet er eine Drehung nach einer den *Ampère*'schen Strömen entgegengesetzten Richtung. Entfernt er sich, so erleidet er eine Drehung, die mit den Strömen *Ampère's* gleich gerichtet ist. Dasselbe ist auch der Fall für Ströme, die, wie in Fig. 698, nach einer der vielen magnetischen Curven *S M N*, welche zwischen den Polen *S* und *N* eines Magnets nach pag. 488 gedacht werden können, hingehen oder sich von ihnen entfernen.

3) Wenn ein positiver Strom *A B*, Fig. 699, sich von einem Punkt *A*, der nicht am Ende des Magnets *N S* liegt, in axialer Richtung nach dem andern Ende *B* bewegt, so muss er in gleicher Richtung mit den *Ampère*'schen Strömen um den Magnet rotiren, und nach entgegengesetzter Richtung, wenn er von *B* nach *A* geht. Vergl. §. 517.

Fig. 699.



Fig. 700.



4) Verhält sich der *negative Lichtstrom* wie eine paramagnetische Flüssigkeit, so muss derselbe, wenn er durch irgend einen Punkt *B* der *Geissler*'schen Kugel *A B*, Fig. 700, einströmt, vom Pol *N* zum Pol *S* eine oder mehrere magnetische Curven wie *B x* bilden, und geht er von irgend einem Punkt *p* in dieser Kugel aus, so muss er einen Lichtbogen erzeugen, welcher der

magnetischen Curve entspricht, die durch diesen Punkt p gedacht werden kann.

Da nun das magnetische Licht sich von dem positiven Lichtstrom durch seine violette Farbe, die häufig durch grüne Streifen begleitet ist, unterscheidet, so wird man die Bestätigung der obigen Gesetze durch Versuche mit dem Inductions-Apparat, wobei immer beide Stromarten zugleich erscheinen, leicht finden, wenn man dabei berücksichtigt, dass der positive Strom stets nach dem negativen hingeht und gleichsam von ihm angezogen wird.

Folgende Beispiele unter vielen andern, die ebenso erklärt werden können, wenn man bei schiefen Richtungen die Kräfte zerlegt, mögen hier genügen:

Bezeichnen A und B, Fig. 701, die Elektroden einer *Geissler*'schen Röhre, in der ein positiver Lichtstrom sich äquatorial bewegt, so wird er nach 1 von den Polen N oder S abgestossen, wenn er von A nach B geht und abwärts gebogen, wenn er von B nach A sich bewegt. Indem *Gassiot* eine Geissler'sche Röhre wie in Fig. 702, an beiden Enden A und B von aussen mit Zinnfolie umgab und diese mit den Elektroden verband, bemerkte er, dass in der äquatorialen Lage zwischen den Magnetpolen S und N der positive Inductionsstrom doppelt erscheint. Die Ursache davon ist die, dass in dem Augenblick, in welchem der Strom den Beleg A positiv macht, die positive Elektrizität innen abgestossen wird und nach B geht. Es entsteht also ein Strom von A nach B und dieser wird von S und N angezogen. Nun ist B innen positiv, aussen negativ. In dem Augenblick darauf wird entweder der Inductionsstrom umgekehrt oder er hört zu wirken auf. In beiden Fällen geht die positive Elektrizität von B im Innern nach A zurück und dieser Strom wird von S und N abgestossen; es erscheinen also die zwei Ströme *Gassiot's* nicht gleichzeitig, sondern nur schnell nacheinander. Solche rücklaufende oder *recurrirende* Ströme erhält man auch, wenn nur ein Ende A belegt und mit dem Inductions-Apparat verbunden ist und man das andere Ende B mit dem Finger berührt; oder wenn nach *Plücker* eine Geissler'sche Röhre, wie in Fig. 703, in der Mitte durch eine Glaswand getheilt ist. Der positive Strom bildet alsdann unter obiger Einwirkung der Magnetpole einen recurrirenden

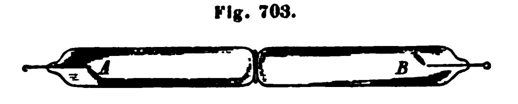

Fig. 701.



Fig. 702.

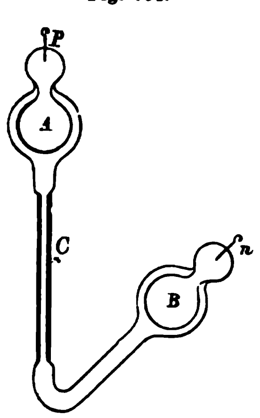


Fig. 703.



Strom in *A* und ebenso mit entgegengesetzter Richtung der negative Strom in *B*. Beide Lichtströme sind ganz gleich, jeder hat auch die negative Lichthülle, und folgen daher wie die Obigen dem Magnet. Werden zwischen *A* und *B* zwei Zwischenwände eingesetzt, und ist in den dadurch entstehenden drei Abtheilungen die Luft sehr verdünnt, so induciren die in *A* und *B* entstehenden recurrirenden Ströme auch einen recurrirenden Strom in der mittleren Abtheilung. Da nun in diese mittlere Abtheilung keine von den metallenen Elektroden hineinreicht, so wird dort Farbe, Schichtung und Spectrum des darin entstehenden Lichtstromes ganz allein von dem Gas oder Dampf abhängig, welche darin sind. Zur Beobachtung der, schon vor Erfindung des Spectralapparates, von *Plücker* untersuchten Spectra der glühenden Gase und Dämpfe, sind daher die von Geissler verfertigten Röhren, Fig. 704, besonders geeignet. An einer Capillarröhre *C* sind 2 weitere Röhren angesetzt, deren Enden in grosse Kugeln aufgeblasen sind. In diese Kugeln sind die etwas kleineren Kugeln *A* und *B* geblasen, in deren Ansatz *p* und *n* die Elektroden nachher eingeschmolzen sind. Alle drei Räume enthalten sehr verdünnte Luft und stehen in keiner Verbindung mit einander. Der von *p* ausgehende positive Strom in *A* kehrt wie oben in sich selbst zurück, ebenso der negative in *B*. Beide induciren in *C* einen Doppelstrom, der in der engen Capillarröhre sehr hell und glänzend wird und keine Metalltheile mit sich führen kann. Die Farben seines Spectrums sind daher allein von den darin glühenden Gasen oder Dämpfen abhängig, und bestätigen die schon früher erwähnte *Plücker*'sche Entdeckung, dass *jedem Gas und jedem Dampf in glühendem Zustand ein eigenthümliches Spectrum zukommt, wie den Metallen* nach §. 247. Diese Spectra sind sehr merkwürdig und schön. Die daraus in dem Capillarrohr *C* gemischte Farbe des Wasserstoffgases ist roth, die von Stickstoff gelbroth und die von Kohlensäure grünlich. Auch die Dämpfe von Metallen z. B. Quecksilber können auf diese Art der Spectral-Analyse unterworfen werden, indem eine kleine Menge derselben vor dem Zerschmelzen in den untern Theil von *C* gebracht ist und dort durch die Lampe erhitzt wird. Dasselbe kann auch mit andern Körpern, wie Schwefel und andern Metalloïden, Salzen u. s. w. geschehen. Die Spectra der Gase und Dämpfe sind sehr verschieden; es findet aber nach *Plücker* auf sie der Satz keine allgemeine Anwendung, dass das Spectrum eines zusammengesetzten Dampfes, durch Uebereinanderlagerung der Spectra seiner Bestandtheile, erhalten wird.

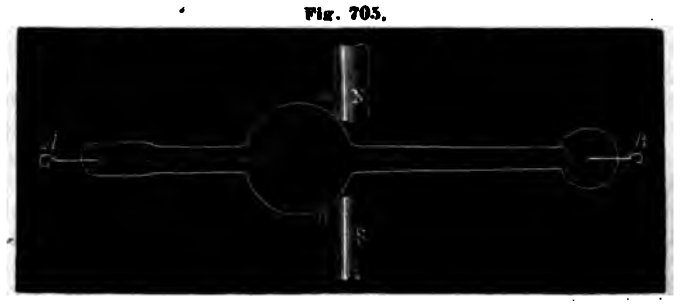
Fig. 704.



Hat eine *Geissler*'sche Röhre die Form, wie Fig. 705, so strömt die negative Elektrizität von *B* in die grosse Kugel und bildet die magnetische Curve *mn* nach 4. Das positive Licht von *A* strömt dazu hin und verbreitet sich dabei in der Kugel.

Die Rotation des Lichtstromes (nach 3., pag. 725, Fig. 699), wenn ein positiver Strom *AB* nach *S* und zugleich ein negativer von *S* nach *A* geht,

Fig. 705.



folglich eine magnetische Curve bildet, hat *De la Rive* schon früher durch folgenden Versuch nachgewiesen: Ein Magnetstab *ab*, **Fig. 706**, oder ein weiches Eisen, welches durch Berührung mit einem Elektromagnet stark magnetisch gemacht werden kann, ist bis nahe an sein unteres Ende in eine dicke Glasröhre eingekittet; über diese geht ein kurzer kupferner Ring *mn*, welcher luftdicht in das eiförmige Glas *B B* eingekittet ist. Dieses kann mit dem untern Ende des Hahns *C* an einer Luftpumpe befestigt und luftleer gemacht werden. Sobald diess geschehen ist und man die Enden der Inductions-Rolle mit dem Magnetpol *a* und dem Kupferring *m* verbunden hat, erscheinen Lichtstreifen zwischen dem untern Ende des Kupferringes *mn* und dem des Magnets *b*, die sich nach dem sub 3. (oben) angeführten Gesetz um den Magnet *ab* drehen. Wird in der Glasglocke ein von dem Magnet isolirter Kupferring so befestigt, dass das Ende *N* des Magnets senkrecht zu seiner Mitte ist, und steht der Ring mit dem positiven Ende des Inductionsdrahtes, der Magnet mit dem negativen in Verbindung, so gehen Strahlen vom Ring zum Pol *N*, die nach *de la Rive* in einer den *Ampère*'schen Strömen des Nordpols entgegengesetzten Richtung rotiren; vergl. §. 494.

Fig. 706.

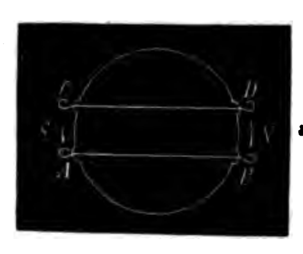


Wird nach *Plücker* eine Kugel mit Elektroden versehen, die in kleinen Kugeln enden, wie in Fig. 707, so geht das negative Licht in Form einer magnetischen Curve von *B* nach *x*. Das positive Licht von *A* zieht sich in Form eines Büschels nach ihm hin.

Fig. 707.



Fig. 708.

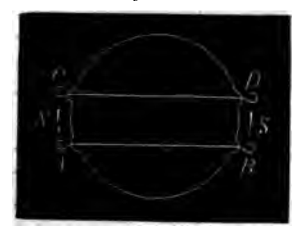


Werden in eine Kugel, Fig. 708, zwei Platinstreifen *A B* und *C D* als Elektroden befestigt und liegt dieselbe so auf den Magnetpolen *S* und *N*, dass *A B C D* eine Horizontalebene bildet, die über der Achse *SN* liegt, so beobachtet man nach *Plücker*, wenn *A* oder *B* mit

dem positiven, *C* oder *D* mit dem negativen Pol verbunden ist, Folgendes:

Das positive Licht wird nach *A* und *B* hingedrängt und strömt von dort in Form einer Spirale nach der negativen Elektrode *C D*, weil das von *A B* nach *C D* strömende Licht von den *Ampère*'schen Strömen in *S* und *N* angezogen wird und zugleich nach 2. p. 725 eine Drehung um *A B* erhält. Werden aber, wie in Fig. 709, die Pole verwechselt, so bilden sich in der Mitte zwei Spiralen, von denen das Licht nach der negativen Elektrode *C D* strömt, weil nun die *Ampère*'schen Ströme der Magnetpole, der Richtung der von *A B* nach *CD* gehenden positiven Ströme entgegengesetzt sind und sie abstossen, diese aber zugleich eine Drehung erfahren.

Fig. 709.



§. 548.

Fasst man alle elektrischen und elektrodynamischen Erscheinungen unter einem einzigen Gesichtspunkte zusammen, so ergibt sich nach *Ampère* daraus folgende Ansicht, welcher auch *Faraday*, besonders seit seiner Entdeckung der magnet-elektrischen Induction, beigetreten ist, und an der die bestimmten Erfahrungen von *Gauss* über die magnetischen Erscheinungen bis jetzt nichts zu ändern nothwendig machten:

Die Theilchen der zwei elektrischen Flüssigkeiten bringen durch ihre anziehenden und abstossenden Kräfte, welche mit dem Quadrate der Entfernung abnehmen, alle Erscheinungen der gewöhnlichen Elektrizität hervor. Wenn diese flüssigen Theilchen in den leitenden Drähten in Bewegung sind, so entspringen aus ihrer gegenseitigen Einwirkung Kräfte, welche von dem sehr kurzen Zeitraume zwischen zwei auf einander folgenden Verbindungen und Trennungen abhängen, und von der Richtung, nach denen die letztern erfolgen. Diese Kräfte sind beständig, wenn der dynamische Zustand der zwei elektrischen Flüssigkeiten in den leitenden Drähten dauernd geworden ist. Die Wechselwirkung zwischen dem Erdmagnetismus und den elektrischen Strömen, sowie die von *Lamont* nachgewiesenen Erdströme zeigen, dass im Innern unserer Erde gleichfalls elektrische Ströme existiren, die denen unserer Leiter ähnlich sind. Sie entstehen wahrscheinlich durch die Veränderungen der Temperatur an der Oberfläche der Erde. Diese Ströme sind es, welche gewissen Mineralien und andern Körpern den Magnetismus ertheilen, wenn sie unter passenden Umständen der elektrodynamischen Wirkung der Erde ausgesetzt werden. Die Variationen der Magnetnadel können also aus einer Veränderung in der Richtung und Stärke des magnetischen Stromes erklärt werden. Derselbe dauernde Zustand, welcher in den von Elektrizität durchströmten Leitern stattfindet, existirt auch um die Massentheilchen der magnetischen Körper und bringt daselbst Wirkungen hervor, die denen der Leitungsdrähte ähnlich sind. Im unmagnetischen Eisen haben diese Ströme alle möglichen Richtungen, und ihre Wirkungen heben sich daher auf. Sobald aber eine äussere Ursache auf diese Ströme wirkt, so ordnen sich alle oder ein Theil derselben nach einer bestimmten Richtung. Beim weichen Eisen hört diese

Ordnung auf, sobald die Ursache nicht mehr wirkt, welche sie hervorgebracht hat; im Stahl währt sie dagegen fort. Berechnet man diese Wirkungen nach der von *Ampère* angegebenen Formel, welche die Wirkung zweier Elemente eines elektrischen Stromes auf einander vorstellt, so erhält man für die Kräfte, die daraus hervorgehen, genau die nämlichen Werthe, welche die Beobachtungen *Biot's* über den Einfluss des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel, oder die von *Coulomb* über den Einfluss der Magnete auf einander geben. Diess scheint ein mathematischer Beweis zu sein, dass die magnetischen Eigenschaften Folgen elektrischer Ströme sind, welche die Massentheilchen des Magnets umkreisen.

Wie bewunderungswürdig damit die spätern Entdeckungen *Faraday's* über die Drehung der Polarisations-Ebene des Lichtes und über den Diamagnetismus der Körper, so wie die von *Plücker* über den positiven Lichtstrom übereinstimmen, ist schon in den §§. 529, 530, 531 und 547 gezeigt worden. Sind aber auch alle diese Beweise nicht ausreichend, dieser Theorie vollkommenes Zutrauen zu verschaffen, so muss man sie doch als das sinnreichste Mittel, eine so grosse Anzahl von elektrodynamischen Gesetzen unter einem einzigen Gesichtspunkt betrachten zu können, gelten lassen.

Sachregister.

Die angegebenen Zahlen bedeuten die Seiten des Buches.

Druck von C. Hoffmann in Stuttgart.







